

ІНСТИТУТ ГІДРОМЕХАНІКИ
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ХЛЕВНЮК ДЕНИС ВІКТОРОВИЧ

УДК 622.235:624.139.329

ДИСЕРТАЦІЯ
РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ СЕЙСМІЧНОГО ЕФЕКТУ
КОРОТКОСПОВІЛЬНЕНОГО ПІДРИВАННЯ У КАР'ЄРАХ ДЛЯ
СЕЙСМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НАВКОЛИШНІХ
БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Д.В. Хлевнюк

Науковий керівник Бойко Віктор Вікторович, доктор технічних наук,
професор

Київ – 2020

АНОТАЦІЯ

Хлевнюк Д.В. Розробка методу оцінки сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання у кар'єрах для сейсмічної безпеки навколишніх будівель і споруд. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин. Національна академія наук України, Інститут гідромеханіки; Національний технічний університет України, «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2020.

Дисертація присвячена вирішенню актуального для кар'єрів науково-практичного завдання визначення параметрів сейсмовибухових хвиль, що формують сейсмічну дію короткосповільнених масових вибухів у кар'єрах та впливають й підвищують безпеку навколишніх будівель і споруд.

Вибухові роботи, що проводяться на гірничих підприємствах і при будівництві, пов'язані з негативною сейсмічною дією на навколишнє середовище. В сучасний час удосконалення способів підвищення рівня безпеки підривних робіт має першочергове значення, а вимоги до підривання передбачають зменшення шкідливої дії наслідків вибухів.

У виробничій сфері постійно ведеться удосконалення технологічних процесів, направлених на підвищення ефективності підривних робіт і одночасно на мінімізацію сейсмічного впливу вибухових робіт на об'єкти, що охороняються.

Одним із прогресивних методів в цьому напрямку є короткосповільнене підривання (КСП), при якому в останній час застосовують неелектричну систему ініціювання зарядів типу Nonel, що дозволяє варіювати величинами сповільнення в широких межах і переходити на посвердловинне ініціювання зарядів. На превеликий жаль, часовий розкид спрацювання сповільнюючих пристроїв властивий і для цієї прогресивної

системи. Точність сповільнювачів залежить від багатьох факторів: дотримання технологічного процесу виготовлення, однорідності і чистоти сповільнюючого складу, умов транспортування і зберігання детонаторів і т.п.

На підприємствах не ведеться систематичного аналізу схем підривання минулих масових вибухів (МВ) і підрильники не знають реальних часових відхилень сповільнювачів в елементах підривної мережі, що веде за собою помилки у розрахунках мережі підривання і як підсумок – не санкціоноване підривання більшої кількості свердловинних зарядів, що передбачено проектом вибуху і певна річ, відбувається не прогнозоване підвищення сейсмічного ефекту вибуху.

Наступним не вирішеним завданням щодо оцінки сейсмічного ефекту вибухових робіт у кар'єрах в нинішній час є підривання окремих свердловинних зарядів, які створюють умови максимального складення хвильових коливань і які визначають сейсмічну дію короткосповільнених масових вибухів через представлення заряду окремої групи зарядів не як розосередженого заряду, а як зосереджену масу, що не відображає фізичну суть КСП.

І якщо при такій створеній ситуації визначення сейсмобезпечних параметрів МВ відбувається по результатах їх моніторингу з використанням сейсмометричної апаратури, то з допомогою певних емпіричних коефіцієнтів можливо вийти на рівень придатних результатів. При відсутності сейсмометричних вимірів значення емпіричних коефіцієнтів, які залежать як від фізико-механічних властивостей ґрунту, так і від кількості свердловинних зарядів, які миттєво підриваються в максимальній групі і створюють умови максимального складення хвильових коливань, можливо визначити тільки з великою похибкою.

У зв'язку з цим дослідження дії вибуху одиночних і групових свердловинних зарядів вибухової речовини (ВР) з урахуванням інтервалів сповільнення, які підриваючись окремими групами створюють умови

максимального складення хвильових коливань, що розповсюджуючись діють на ґрунтову основу будівель і споруд та впливають на їх сейсмостійкість є актуальною науково - практичною задачею.

Мета досліджень полягає в розробці науково - обґрунтованих методів визначення параметрів сейсмовибухових хвиль від дії одиничних і групових свердловинних зарядів при короткочасних масових вибухах у кар'єрах, що впливають на підвищення безпеки навколишніх будівель і споруд.

Існуючий спосіб прогнозу сейсмічного ефекту КСП оцінюється по максимальній масі ВР на ступінь уповільнення зосереджених зарядів, з'єднаних в одну систему ініціювання (групу). При цьому вважається, що ця група впливає на сейсмостійкість будівель і споруд, розташованих навколо кар'єру, хоча на практиці мають місце виникнення явища складення сейсмічних хвиль від вибуху окремих розосереджених свердловинних зарядів. Тому подальший розвиток досліджень направлений на: виявлення кількісних та якісних зв'язків між проектним часом ініціювання всіх свердловинних зарядів при КСП та фактичним часом з урахуванням похибок при ініціюванні поверхневих та внутрішньо свердловинних детонаторів заводського виготовлення; встановлення кількісних та якісних зв'язків між власними частотними гармоніками об'єктів та найбільш наближених до них типів сейсмічних хвиль, одержаних на основі аналізу траєкторій руху часток ґрунтів із осцилограм КСП; визначення критеріїв по параметру сейсмічних хвиль від вибуху одиничного заряду для виявлення максимального сейсмічного поля при КСП; вирішення питання про можливість визначення максимальної маси ВР на ступінь уповільнення прийнявши її як сейсмічний ефект всього КСП на кар'єрах по кількості тих одночасно підірваних свердловинних зарядів, що створюють максимальне хвильове поле.

Визначена концепція оцінки КСП вибуху системи зарядів по максимальній сумарній амплітуді дії одиничного свердловинного заряду з урахуванням зсуву фаз сейсмовибухових хвиль та розглянуті питання

розробки методу прогнозування сейсмічного ефекту КСП у кар'єрах, щодо оцінки кількості свердловинних зарядів з використанням сейсмограм вибуху одиничного заряду.

Таким чином на основі проведених досліджень запропоновано: при обробці результатів сеймометричних вимірів використовувати метод низькочастотної фільтрації сейсмограм, який дозволяє: очистити на сейсмограмах записів похибки від високочастотних коливань, викликаних інтерференційними явищами; одержати із осцилограм видимий відфільтрований період і максимальну амплітуду швидкості сейсмічних хвиль, які впливають на сейсмостійкість об'єктів, що охороняються і які необхідно прийняти за критерій оцінки сейсмоефекту при одержанні інженерних формул для розрахунків параметрів сейсмічних хвиль в конкретних гірничо-геологічних масивах порід. Також встановлені кількісні та якісні зв'язки між власними частотними гармоніками об'єктів та найбільш наближених до них типів сейсмічних хвиль, одержаних на основі аналізу траєкторій руху часток ґрунтів із осцилограм КСП, які будуть застосовані для обґрунтовано сейсмічного навантаження на гідротехнічні (гідроагрегати) і інженерні споруди (підпірна стінка дробарки) та інші, при визначенні допустимої маси ВР на ступінь уповільнення.

Сейсмічний ефект всього масового вибуху визначають прийняті за еталон параметри сейсмічних хвиль вибуху одиничного заряду, одержані по результатам моніторингу короткосповільненого підривання, у просторі, разом з усіма свердловинними зарядами, але відокремленого (інтервалом сповільнення) в часі, що дозволило збільшити точність на 10-15 % визначення допустимих значень швидкості коливань (критерій сейсмостійкості) будівель і споруд різного призначення.

Розглянуто питання щодо впровадження розроблених методів оцінки сейсмоефекту по результатах аналізу моніторингу МВ у кар'єрах, і проведення розрахунків для відповідних гірничо-геологічних умов

емпіричних залежностей, які визначають сейсмобезпечні параметри сейсмічних хвиль для навколишніх будівель і споруд.

Розглянуто питання впровадження удосконаленого методу прогнозування сейсмічного ефекту КСП на стійкість будівель, гідротехнічних і інженерних споруд, розташованих навколо кар'єрів ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр», ТОВ «Вирівський кар'єр», гранітного кар'єру ТОВ «СПАН» та в акваторії відстою судів біля земельно-кам'яної греблі Дністровської ГЕС.

Дисертація є завершеною науково-дослідницькою роботою, у якій вперше на основі результатів аналітичних і промислових досліджень запропоновано вирішення актуального для кар'єрів науково-практичного завдання визначення параметрів сейсмовибухових хвиль, що формують сейсмічну дію короткосповільнених масових вибухів у кар'єрах та впливають й підвищують безпеку навколишніх будівель і споруд.

Ключеві слова: сейсмобезпека, масовий вибух, будівлі, кар'єр, швидкість коливань часток ґрунту, короткосповільнене підривання, сейсмічний ефект, сейсмічні хвилі, ґрунт, інтервали сповільнення, ініціювання, розосереджені свердловинні заряди.

ABSTRACT

Khlevnyuk D.V. Development of a method for estimating the seismic effect of short delayed blasting in quarries for seismic safety of surrounding buildings and structures - Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Engineering in the specialty 05.15.03 - open mining of minerals. Institute of Hydromechanics, NAS of Ukraine, National Technical University of Ukraine, «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the solution of the actual for the quarries scientific and practical task of determining the parameters of seismic explosive

waves, which form the seismic effect of short-delayed mass explosions in the quarries and affect and increase the safety of surrounding buildings and structures.

Mining and construction blasting associated with adverse seismic effects on the environment. At present, improvements to methods of increasing the level of safety of blasting operations are of paramount importance, and the requirements for blasting involve reducing the harmful effects of explosions.

Technological processes are constantly being improved in the production field, aimed at increasing the effectiveness of blasting operations and at the same time minimizing the seismic impact of explosive works (EW) on protected objects.

One of the progressive methods in this direction is the short-slowed down (SSD) blasting, which recently uses a non-electric charge initiation system type Nonel, which allows varying the magnitude of the deceleration over a wide range and switching to downhole charge initiation. Unfortunately, the time scatter triggering of the slowing-down devices is also characteristic of this progressive system. The accuracy of retarders depends on many factors: adherence to the manufacturing process, the homogeneity and purity of the retardant composition, the conditions of transportation and storage of detonators, etc.

The enterprises do not conduct a systematic analysis of the explosive patterns of past mass explosions (ME) and blasters do not know the real time deviations of slowing-down devices in the elements of the explosive network. This entails errors in the calculations of the blast network and, as a result, unauthorized detonation of a larger number of borehole charges than envisaged by the blast project and, of course, an unpredictable increase in the seismic effect of the blast occurs.

The next unsolved problem, regarding the evaluation of the seismic effect of blasting operations in quarries at present, is the detonation of individual well charges, which create conditions for the maximum addition of wave oscillations, and which determine the seismic action of SSD mass explosions through the presentation of a charge of a separate group of a charges not but as dispersed

charge a concentrated mass that does not reflect the physical essence of the SSD blasting.

And if in such a created situation the determination of seismically safe parameters of ME is based on the results of their monitoring using seismometric equipment, then with the help of certain empirical coefficients it is possible to reach the level of suitable results. In the absence of seismometric measurements, the values of empirical coefficients, which depend both on the physical and mechanical properties of the soil and on the number of downhole charges, which are immediately explode in the maximum group and create conditions for the maximum addition of wave oscillations, can only be determined with a large error.

In this regard, the study of the effects of explosion of single and group borehole charges, taking into account the intervals of decay, which, exploding by individual groups, create the conditions of maximum wave oscillation, which, spreading, affect the soil base of buildings and structures, and affect their seismic stability is actual scientific - practical problem.

The purpose of the research is to develop scientifically sound methods for determining the parameters of seismically explosive waves from the action of single and group wells in short - delayed mass explosions in quarries that affect the safety of surrounding buildings and structures.

The existing method for predicting the seismic effect of a SSD blast is estimated by the maximum mass of explosive per degree of deceleration of concentrated charges connected into a single initiation system (group). It is believed that this group affects the seismic stability of buildings and structures located around the quarry, although in practice there are phenomena compilation of seismic waves from the explosion of individual dispersed downhole charges. Therefore, further development of research is aimed at: identifying quantitative and qualitative relationships between the design time of initiation of all downhole charges at SSD blasting and the actual time, taking into account errors in the initiation of surface and internally borehole detonators of factory production;

establishing quantitative and qualitative relationships between the own harmonics of the objects and the seismic waves closest to them, obtained from the analysis of the trajectories movement of the soil particles from waveforms SSD blast; determination of criteria on the parameter of seismic waves from a single charge explosion to detect the maximum seismic field at SSD explosion; addressing the question of possibility of determining the maximum mass of the explosive to the degree of deceleration, taking it as a seismic effect of the entire SSD blasting at the quarries by the quantity those of simultaneously blast downhole charges that create the maximum wave field.

Defined the concept of evaluation is of SSD blast of explosion of charge system explosion by maximum total amplitude of action of a single downhole charges is taken into account with consideration of phase shift of seismic blast waves and considered the questions of development of method of seismic effect of SSD explosion in quarries in estimation of quantity of downhole charges using the explosion seismograms single charge.

Thus, based on the conducted research, it is proposed to use the method of low-frequency filtering of seismograms when processing the results of the seismometric measurements, which allows: to clear on the seismograms the error records from the high-frequency oscillations caused by interference phenomena; to obtain from the waveforms the filtered period and the maximum amplitude of the seismic wave velocity, which affect the seismic stability of the protected objects and which must be taken as a criterion for estimating the seismic effect when obtaining engineering formulas for calculating geo-seismic wave parameters. Quantitative and qualitative relationships between the natural frequency harmonics of objects and the closest types of seismic waves, obtained on the basis of the analysis of trajectories of movement soil particles from waveform COP blasting, will be established, which will be used for reasonably seismic loading on hydrotechnical (hydropower) structures (crusher retaining wall) and others, in determining the permissible mass the explosive at the degree of deceleration.

The seismic effect of the total mass explosion is determined, taken as a standard, the parameters of seismic waves of a single charge explosion, obtained by the results of monitoring of short-delayed blasting, in space, together with all borehole charges, but separated by an interval of slowing down, which made it possible to increase the accuracy by 10-15% of the determination of acceptable values of the velocity of oscillation (seismic resistance criterion) of buildings and structures of various purposes.

Considered the issues of implementation of the developed methods of seismic effect estimation based on the results of analysis of monitoring of ME in quarries and the carrying out calculation of the corresponding mining and geological conditions of empirical dependencies that determine the seismic parameters of seismic waves for the surrounding buildings and structures.

Considered the question of introduction of the advanced method of forecasting the seismic effect of the SSD of blasting on the stability of buildings, hydraulic and engineering structures located around the quarries of the "Rokytnian Special Quarry", OJSC "Vyrivsky Quarry", granite quarry of "SIPAN" LLC and the water area of the standing ships near the land-rock dam of the Dniester hydroelectric power station.

The dissertation is a completed research work, in which for the first time on the basis of the results of analytical and industrial researches the solution of the actual for the quarries scientific and practical task of determination of the parameters of seismic explosive waves forming the seismic action of SSD mass explosions in the quarries and affect and enhance the safety of surrounding buildings and structures.

Keywords: earthquake, mass explosion, buildings, quarry, ground particle oscillation rate, short-term detonation, seismic effect, seismic waves, soil, deceleration intervals, initiation, dispersed borehole charges.

Наукові роботи, в яких відображено основні результати дисертаційної роботи:

Статті у фахових виданнях:

1. Кузьменко А.А., Чала О.М. Хлевнюк Д.В. О количестве фактически взрывающихся зарядов в одной группе. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2014. Вип. 26.
2. Кузьменко А.А., Хлевнюк Д.В., Богуцький С.Ю. Определение реального количества взорванных скважин в одной группе. *Вісник КрНУ*. Вип. 6/2014 (89). Частина 1. С.112-116.
3. Бойко В.В. Хлевнюк Д.В. Сейсмобезопасность сооружений в условиях промышленных взрывов. *Turkmenistanda seysmika durnukli gurlysygy kamilledirmek-gurlusyk pudagynyn ustunlikli syyasatynyn girewirir*. Ашхабад. 2014. с.78-84.
4. Бойко В.В., Чала О.М., Хлевнюк Д.В. Сейсмобезпека гребель і споруд в умовах кар'єрних вибухів. *Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. ПолтНТУ*. 2015. Вип. 3 (45). С. 193-202. (міжнародна наукометрична база *Index Copernicus*).
5. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Д.В., Лемешко В.А. Дискретизация аналогового сигнала от сейсмического приемника СМ-3 при проведении промышленных взрывов. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2015. Вип. 27. С.97-105.
6. Бойко В.В., Хлевнюк Д.В., Богуцький С.Ю. Оцінка сейсмічного ефекту масових вибухів ри системі неелектричного ініціювання зарядів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2015. Вип. 28. С.5-11.
7. Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Чала О.М. Хлевнюк Д.В. Про сейсмічну дію вибуху розосередженого заряду. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2016. Вип. 31. С.25-35.
8. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Хлевнюк Д.В. Дія вибуху розосередженого заряду в скельних ґрунтах. *Вісник ЖДТУ. Технічні*

Науки. 2017. Вип. № 1 (79). С. 153-159. (включено до баз даних «WorldCat», «BASE», «eLibrary», «Google Scholar»)

9. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Д.В. Норми сейсмічної безпеки при проведенні вибухових робіт на кар'єрах *Вісник ЖДТУ. Технічні Науки*. 2017. Вип. № 2 (80). С. 214 – 224. (включено до баз даних «WorldCat», «BASE», «eLibrary», «Google Scholar»).

Патенти на корисні моделі та винаходи:

10. Спосіб сейсмобезпечного короткосповільненого підривання в тріщинуватих гірських породах: пат. на корисну модель № 93234 UA: МПК E21C41/26 (2006.01). №u201403411; заявл. 03.04.2014; опубл. 25.09.2014. Бюл. №18.

11. Спосіб вибухового руйнування складно структурних масивів гірських порід: пат. на корисну модель № 93235 UA . №U201403413; заявл. 03.04.2014; опубл. 25.09.2014. Бюл. №18.

12. Спосіб визначення сейсмобезпечної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів і відстаней: пат. на корисну модель №131003 UA . заявл. 25.04.2018; опубл. 10.01.2019. Бюл. №1.

13. Спосіб визначення інтенсивності сейсмічних хвиль при масових вибухах: пат. на корисну модель № №135669 UA . заявл. 07.02.2019; опубл. 10.07.2019. Бюл. №13.

Тези докладів

14. Чала О.М., Хлевнюк Д.В., Криворучко Н.І. Оцінка інтерференції сейсмічних коливань при неелектричній системі ініціювання зарядів вибухової речовини. Збірник матеріалів П'ятої Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених до 95-річчя Національної академії наук України. (Київ, 19-20 лист. 2013 р.). Київ. 2013.

15. Бойко В.В. Хлевнюк Д.В. Сейсмобезопасность сооружений в условиях промышленных взрывов. *Turkmenistanda seysmika durnukli gurlysygy*

kamillesdirmek-gurlusyk pudagynyn ustunlikli syyasatynyn girewirir (Ашхабад, 2014.) Ашхабад, 2014. С.78-84.

16. Чала О.М., Кузьменко А.О. Хлевнюк Д.В. Оцінка сейсмічного ефекту масових вибухів на кар'єрах. *Енергетика. Екологія. Людина. Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва: матеріали IX міжнародної науково - технічної конференції молодих вчених, аспірантів та магістрантів.* (Київ, 25 трав. 2017р.). Київ, 2017.

17. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Хлевнюк Д.В. Сейсмічна дія короткосповільнених масових вибухів. *Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики: матеріали міжнародної науково-технічної конференції* (Київ, 17-18 трав. 2018 р.). Київ, 2018.

18. Кузьменко А.О., Чала О.М., Хлевнюк Д.В., Тарасюк О.С. Сейсмічний ефект вибуху одночасно підірваних зарядів. *Розробка родовищ корисних копалин. Маркшейдерське забезпечення геотехнологій: матеріали всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих вчених та студентів, присвяченої Дню науки* (Житомир, 16-18 трав. 2018р.). Житомир, 2018. С. 191-192.

19. Бойко В.В., Хлевнюк Т.В., Хлевнюк Д.В., Лемешко В.А. Дискретизація сигналів одержаних аналого-цифровим комплексом до показників автономного комплексу Mini mate plus. *Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики: матеріали II міжнародної науково-технічної конференції* (Київ, 29-31 трав. 2019 р.). Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2019.

20. Хлевнюк Д.В., Лемешко В. А. Чала О.М. Низькочастотна фільтрація сейсмограм, одержаних аналого-цифровим комплексом. *Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів: матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених* (Житомир, 17- 18 квітня 2019 р.). Житомир : ЖДТУ, 2019.

21. Хлевнюк Д.В., Тарасюк О.С., Чала О.М. Фільтрація запису хвильових коливань. *Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики: матеріали II міжнародної науково-технічної конференції* (Київ, 29-31 трав. 2019 р.). Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2019.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та окремі її результати обговорювались на Міжнародному форумі-конкурсі молодих вчених «Проблемы недропользования» (Российская Федерация, 23-25 апреля Санкт-Петербург, 2013 г.) , на Всеукраїнській науковій конференції молодих вчених «До 95-ти річчя НАН України» Київ, 19-20 листопада 2013 р; Міжнародній науково-технічній конференції «Энергетика. Экология. Человек». Конференции молодых ученых, аспирантов и магистрантов. Секция «Перспективы развития горного дела и подземного строительства» (Украина ,Киев, 2014).

Зміст

ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СЕЙСМОБЕЗПЕКИ МАСОВИХ ВИБУХІВ У КАР'ЄРАХ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	25
1.1 Аналітичний огляд наукових праць по дослідженню сейсмічної дії КСП в залежності від технологічних факторів.	25
1.2 Аналіз зарубіжних та вітчизняних норм сейсмічної безпеки для будівель і споруд при технологічних вибухах у кар'єрах	32
1.3 Сучасні методи оцінки сейсмічної дії КСП на павколишне середовище кар'єру і постановка задач досліджень.....	37
РОЗДІЛ 2 АПАРАТУРНІ КОМПЛЕКСИ РЕЄСТРАЦІЇ СЕЙСМОВИБУХОВИХ ХВИЛЬ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗШИФРОВКИ ОСЦИЛОГРАМ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОЦІНКИ СЕЙСМОБЕЗПЕКИ.....	41
2.1 Вибір сейсмоапаратури, її комплексів та методика виміру параметрів сейсмовибухових хвиль при масових вибухах у кар'єрах.....	41
2.2 Розробка способу низькочастотної фільтрації сейсмограм, одержаних аналого-цифровим комплексом для підвищення точності оцінки сейсmobезпеки	46
Висновки до розділу 2.....	53
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ОДНОЧАСНО ПІДІРВАНОЇ МАСИ ЗАРЯДУ ДЛЯ ОЦІНКИ СЕЙСМОБЕЗПЕКИ КОРОТКОСПОВІЛЬНЕНОГО ВИБУХУ У КАР'ЄРАХ.....	55

3.1 Концепція формування сейсмічних сигналів масового вибуху від одиначних і групових свердловинних зарядів зкомутованих в одну систему ініціювання.	55
3.2 Дослідження по розробці способу визначення сейсмобезпечної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів і відстаней	63
Висновки до розділу 3.....	69
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ОЦІНКИ СЕЙСМОЕФЕКТУ КСП ПО АНАЛІЗУ ДІЇ ОДИНОЧНОГО СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ МОНІТОРИНГУ МАСОВИХ ВИБУХІВ У КАР'ЄРІ	71
4.1 Методики проведення моніторингу масових вибухів та визначення несанкціонованого підриву свердловинних зарядів при КСП	71
4.2 Методичні розробки по прогнозу і оцінки сейсмічної безпеки вибухових робіт для підвищення сейсмостійкості будівель і споруд	77
4.3 Експериментальні дослідження перевірки способу визначення сейсмобезпеки по дії одиничного свердловинного заряду на прикладі моніторингу масових вибухів у кар'єрах	92
Висновки до розділу 4.....	102
РОЗДІЛ 5 ВПРОВАДЖЕННЯ ОДЕРЖАНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ СЕЙСМОБЕЗПЕКИ ПО АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ МОНІТОРИНГУ МАСОВИХ ВИБУХІВ НА КАР'ЄРАХ	104
5.1 Методика проведення моніторингу масових вибухів щодо розроблених методів оцінки сейсмобезпеки на кар'єрах	104
5.2 Впровадження одержаних методів оцінки сейсмобезпеки з аналізу результатів моніторингу масових вибухів на кар'єрі в акваторії стояння судів	108

5.3 Впровадження одержаних методів оцінки сейсмобезпеки по аналізу результатів моніторингу масових вибухів на гранітному кар'єрі ТОВ «Вирівський кар'єр»	110
5.4 Впровадження одержаних методів оцінки сейсмобезпеки по аналізу результатів моніторингу масових вибухів на гранітному кар'єрі ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр»	112
5.5 Впровадження одержаних методів оцінки сейсмобезпеки з аналізу результатів моніторингу масових вибухів на гранітному кар'єрі ТОВ «СПАН»	114
5.6 Впровадження одержаних методів оцінки сейсмобезпеки з аналізу результатів моніторингу масових вибухів на гранітному кар'єрі ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ»	116
5.7 Методика розрахунку техніко-економічного ефекту від впровадження розроблених рекомендацій при виконанні буровибухових робіт на кар'єрах	117
Висновок до розділу 5	118
ВИСНОВКИ	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	122
ДОДАТКИ	130
ДОДАТОК А	131
ДОДАТОК Б	134
ДОДАТОК В	135
ДОДАТОК Г	141

ВСТУП

Актуальність теми. Вибухові роботи, що проводяться на гірничих підприємствах і при будівництві, пов'язані з їх негативною сейсмічною дією на навколишнє середовище.

В сучасний час, коли потужність підривних робіт постійно зростає, удосконалення способів підвищення рівня безпеки останніх має першочергове значення.

У виробничій сфері постійно ведеться удосконалення технологічних процесів, направлених на підвищення ефективності підривних робіт і одночасно на мінімізацію сейсмічного впливу вибухових робіт на об'єкти, що охороняються.

Одним із прогресивних методів в цьому напрямку є короткосповільнене підривання (КСП), при якому в останній час застосовують неелектричну систему ініціювання зарядів типу Nonel, що дозволяє варіювати величинами сповільнення в широких межах і переходити на посвердловинне ініціювання зарядів. На превеликий жаль, часовий розкид спрацювання сповільнюючих пристроїв властивий і для цієї прогресивної системи. Точність сповільнювачів залежить від багатьох факторів: дотримання технологічного процесу виготовлення, однорідності і чистоти сповільнюючого складу, умов транспортування і зберігання детонаторів, тощо.

На підприємствах не ведеться систематичного аналізу схем підривання минулих масових вибухів (МВ) і підривники не знають реальних часових відхилень сповільнювачів в елементах підривної мережі, що призводить до помилки у розрахунках мережі підривання і як підсумок – до несанкціонованого підривання більшої кількості свердловинних зарядів, що передбачено проектом вибуху, і певна річ, відбувається непрогнозоване підвищення сейсмічного ефекту вибуху.

Наступним не вирішеним завданням щодо оцінки сейсмічного ефекту вибухових робіт у кар'єрах в нинішній час є підривання окремих свердловинних зарядів, які створюють умови максимального складення хвилевих коливань і які визначають сейсмічну дію короткосповільнених масових вибухів через представлення заряду окремої групи зарядів не як розосередженого заряду, а як зосереджену масу, що не відображає фізичну суть КСП.

І якщо при такій створеній ситуації визначення сейсмобезпечних параметрів МВ відбувається за результатами моніторингу дії вибуху одиничних і групових свердловинних зарядів з використанням сейсмометричної апаратури, то з допомогою певних емпіричних коефіцієнтів можливо вийти на рівень придатних результатів. При відсутності сейсмометричних вимірів значення емпіричних коефіцієнтів, які залежать як від фізико-механічних властивостей ґрунту по профілю розповсюдження сейсмічних хвиль та біля об'єктів, що охороняються, так і від кількості окремих свердловинних зарядів вибухової речовини (ВР) в мережі КСП, які взаємодіючи створюють небезпечні умови суперпозиції хвилевих потоків, можливо визначити тільки з великою похибкою.

У зв'язку з цим дослідження сейсмічного ефекту КСП за результатами моніторингу МВ з використанням сейсмометричної апаратури з урахуванням розкиду часу поверхневих і внутрішньо свердловинних детонаторів та наявності у довкіллі перешкод сейсмічного походження направлені на уточнення максимально допустимої маси ВР в розрахунках мережі для монтажу системи ініціювання на блоках, що підривають у кар'єрах та які забезпечать сейсмобезпеку навколишніх будівель і споруд, є **актуальною** науково - практичною задачею.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами планами, темами. Наведені у роботі результати дослідження пов'язані з науково-дослідними темами Інституту гідромеханіки НАН України: «Дослідження, формування і розповсюдження динамічних збурень різної природи в

середовищах та їхня взаємодія з поверхневими природними та інженерними об'єктами» (2006–2010 р. р., № ДР 0107U000247); «Дослідження хвильових процесів при дії вибухів одиночних і групових зарядів різної конструкції з урахуванням їх взаємодії в часі та просторі в породах з різними властивостями на основі математичного моделювання та експериментів» (2011-2014 р. р., № ДР 0111U002107); «Дослідження процесів багатостадійного формування й розвитку в часі та просторі вибухових сейсмічних імпульсів з використанням короткосповільненого підривання в гірництві» (2015-2018 р. р., № ДР 0115U002104), в якій автор брав участь у якості виконавця.

Мета дисертаційної роботи. Мета досліджень полягає в удосконаленні методу оцінки сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання, заснованого на розробці алгоритму визначення максимальної маси ВР на ступінь уповільнення для розрахунку мережі підривання блоків на робочих горизонтах кар'єру, які забезпечують допустимі значення швидкостей коливань біля навколишніх будівель і споруд.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети сформульовано такі задачі дослідження :

1. Провести вибір структурних схем замірів сейсмовибухових хвиль, апаратури реєстрації коливань та обробки сейсмограм з використанням методу низькочастотної фільтрації сигналів.
2. Удосконалити методи прогнозування сейсмічного ефекту КСП у кар'єрах щодо оцінки кількості здетонованих свердловинних зарядів з використанням сейсмограм вибуху одиничного заряду.
3. Розробити метод визначення несанкціонованого підриву свердловинних зарядів при КСП.
4. Розробити метод апаратурної фіксації інформації про сейсмічні коливання ґрунтової основи будівель і споруд для визначення різних типів сейсмічних хвиль і їх амплітудно-частотних спектрів найбільш близьких до власних гармонік цих об'єктів.

5. Перевірка і впровадження розроблених методів оцінки сейсмоефекту за результатами аналізу моніторингу КСП у кар'єрах і одержання відповідних емпіричних залежностей щодо визначення безпечних параметрів сейсмічних хвиль.

Об'єктом дослідження є процеси збудження і взаємодії сейсмічних хвиль від дії свердловинних зарядів при КСП у кар'єрах.

Предметом дослідження є параметри сейсмічних хвиль від дії одиничних і групових свердловинних зарядів при КСП у кар'єрах.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше:

- розроблено спосіб низькочастотної фільтрації сейсмограм при обробці результатів сейсмометричних вимірів в умовах наявності перешкод довкілля динамічних впливів різного походження, що дозволило збільшити точність на 10-15 % визначення як амплітудних значень коливань ґрунту, так і видимого періоду сейсмічних хвиль щодо сейсмостійкості охоронних об'єктів;

- розроблено і перевірено на практиці метод визначення фактичної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів при КСП з урахуванням розкиду часу їх ініціювання, що дозволило уникнути непрогнозованих підривань зарядів і таким чином унеможливити надлишкову сейсмічну дію при вибухових роботах, який збільшив точність до 15 %;

- встановлений критерій по параметру сейсмічних хвиль від вибуху одиничного заряду для визначення максимального сейсмічного поля при КСП; дана відповідь щодо можливості оцінки і прогнозу сейсмічного ефекту від МВ способом КСП для всього горизонту робіт, або для невеликого кар'єру в цілому;

- отримані нові кількісні та якісні зв'язки між типами сейсмічних хвиль і їх спектрами, які найбільш проявляються у власних гармоніках об'єктів, що охороняються, і які є найнебезпечнішими, що дозволило збільшити точність розрахунку допустимих швидкостей коливань біля таких об'єктів як уступи,

підпірна стінка ДСК, інженерні споруди і гребля ГЕС (по параметрам поперечних хвиль «S») до 30%, а біля житлових і адміністративних будівель масової забудови (по параметрам поверхневих хвиль Релея «R») до 15%.

Практичне значення одержаних результатів полягає:

- уперше отриманні зв'язки між руйнівними характеристиками свердловинних зарядів ВР в осередку КСП та формуванням сейсмічного впливу в навколишньому середовищі, що дає розуміння виявлення хвильових полів, які створюють найбільшу небезпеку сейсмостійкості для будівель і споруд в залежності не тільки від призначення та технічного стану, але у прояві їх власних гармонік в сейсмічних спектрах КСП.

- науково обґрунтовано зниження в 1,1–1,3 рази сейсмічного навантаження на гідротехнічні (гідроагрегати) і інженерні споруди (підпірна стінка ДСК) масової швидкості коливань по параметрам поперечних «S» і поверхневих хвиль «R», яке забезпечується дотриманням допустимої маси ВР на ступінь уповільнення, визначеної за методикою автора на основі аналізу траєкторій руху часток ґрунту, отриманих як при вибуху одиничного заряду, так і при МВ.

- уперше визначені емпіричні залежності щодо розрахунку максимальної допустимої кількості підриву свердловинних зарядів ВР на ступінь уповільнення в схемах КСП для підриву послідовних блоків робочих горизонтів кар'єра з одночасним забезпеченням допустимих значень швидкостей коливань біля навколишніх будівель і споруд.

- розроблено рекомендації з визначення параметрів вибухових робіт та відстаней до них, що забезпечують сейсмічну безпеку відповідальних об'єктів державного значення таких, для яких відсутні допустимі норми, як магістрального газопроводу і опори ЛЕП, що розташовані у промисловій зоні 300, 400 м від західних границь Коціївського гранітного кар'єру, греблі Дністровської ГЕС (промислова зона кар'єру будматеріалів), а також об'єкти місцевого значення (гребля Чернятської ГЕС, гранітно-подрібнювальний завод Вирівського родовища гранітів та інші). Очікуваний річний сумарний

економічний ефект від впровадження рекомендацій за рахунок зменшення кількості вибухів та годин простою гірничо-видобувного обладнання п'яти кар'єрів становить більше 570 тис. грн.

Методи дослідження. Методичну основу вирішення комплексу поставлених завдань становлять аналізи відомих наукових результатів по способам прогнозу сейсмобезпечного проведення підривних робіт, його узагальнення; рішення прямих задач по розповсюдженню сейсмовибухової хвилі в багат шаровому масиві гірських порід для визначення сейсмобезпечних параметрів масового вибуху у кар'єрі, що гарантують стійкість будівель і споруд; експериментальне дослідження параметрів з допомогою апаратурних приладів сейсмічних хвиль у промислових умовах; використання графоаналітичного методу та методу математичної статистики при обробці експериментальних даних, враховуючи економічні показники.

Особистий внесок здобувача у роботи, опубліковані у співавторстві:

Аналітичні та методичні розробки, сейсмобезпечні технологічні вибухові схеми, способи сейсмобезпечного короткосповільненого підривання на кар'єрах, належать автору і відображені у 9 статтях та 4-х патентах України на корисну модель, написаних у співавторах. В працях [1,2,3] – постановка завдань, аналітичні та експериментальні дослідження, робота з літературними джерелами, формулювання висновків; [4] – обґрунтування сейсмічних навантажень на гідротехнічні споруди щодо вібрацій при роботі гідроагрегатів Дністровської ГЕС; [5] – розробка способу низькочастотної фільтрації сейсмограм, при обробці результатів сейсмометричних вимірів в умовах інтерференції наявності перешкод довкілля; [6,7] – аналіз результатів польових робіт, математичні розрахунки сейсмобезпечних параметрів масових вибухів, робота з літературними джерелами; [8, 9] – постановка мети і завдань досліджень, розробка методик та проведення промислових експериментів; [10-13] – формулювання способу, визначення формул на корисну модель.

Постановка задач промислової сейсмобезпеки, конструктивна допомога в аналізі отриманих аналітичних та експериментальних результатів належить д.т.н., проф. В. В. Бойку. Конструктивна допомога в аналізі патентних джерел, отриманих експериментальних результатів належить к.т.н., с.н.с. А. О. Кузьменку.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та окремі її результати обговорювались на Міжнародному форумі-конкурсі молодих вчених «Проблемы недропользования» (Российская Федерация, 23-25 апреля, г. Санкт-Петербург, 2013); Всеукраїнській науковій конференції молодих вчених «До 95-ти річчя НАН України» м. Київ, 19-20 листопада 2013; Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина». Конференції молодих вчених, аспірантів і магістрантів. Секція «Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва» (Україна, м. Київ, 2014).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 21 наукова праця, із них 9 статей – у фахових наукових виданнях України, 8 – доповіді на науково-технічних конференціях, 4 – патенти України на корисну модель. В тому числі 4 публікації у журналах, що індексуються у міжнародних наукометричних базах («*IndexCopernicus*», «*WorldCat*», «*GoogleScholar*»).

Структура і об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 74 найменувань, 4 додатків на 13 сторінках, містить 22 рисунки, 19 таблиць. Загальний обсяг роботи становить 143 сторінки.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД І АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СЕЙСМОБЕЗПЕКИ МАСОВИХ ВИБУХІВ У КАР'ЄРАХ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналітичний огляд наукових праць по дослідженню сейсмічної дії КСП в залежності від технологічних факторів.

Переважає більшість методів, що зменшують сейсмічність в тій чи іншій мірі сприяє більш повному використанню енергії вибуху заряду і, як наслідок, кращому дробленню масиву порід. Це дозволяє вирішувати питання сейсмічності не ізольовано, а в комплексі з завданнями отримання гірської маси кондиційної величини. Головною сполучною ланкою, що дозволяє комплексно вирішувати ці проблеми, є вихідна енергія вибухової речовини, розподіл якої і визначає інтенсивність, як процесу дроблення, так і формування хвильових явищ.

Визначальними параметрами інтенсивності коливань ґрунту при вибухах є загальна маса вибухової речовини і її розділення на окремі ступені сповільнення з допомогою міні секундних часових відрізків, ґрунтові умови проведення свердловинно вибухових робіт (СВР) і трас розповсюдження сейсмічних хвиль, а також прийнята технологія виконання СВР у кар'єрі [1, 2]. Основними складовими сейсмічного ефекту вибухових робіт є швидкість зміщення часток ґрунту, її період (частота) коливань і тривалість. Тому у подальшому проведемо огляд існуючих досліджень в цьому напрямку.

В першу чергу, маса вибухової речовини і розділення її на ступені.

В теперішній час більшість дослідників вважають, що рівень швидкості коливань ґрунту визначається не загальною масою ВР, а масою ВР однієї ступені [3-15], а тривалість коливань – їх загальним числом [9, 10, 16, 17] при умові, що час сповільнення між підривом окремих ступенів оптимальний [3, 6, 7, 18], а загальна маса ВР розподіляється по ступенях достатньо рівномірно

[8 – 10, 16, 19]. При цьому в усіх дослідженнях масу заряду, при проведенні короткосповільнених масових вибухах на кар'єрах, визначають у зосереджених свердловинах, які вибухають в максимальній групі миттєво.

Так як розкид у масах ВР ступенів для реальних промислових вибухів завжди має місце, то деякі дослідники вважають, правомірним орієнтуватись на масу ВР однієї ступені тільки тоді, коли розкид її величини не перевищує 15-20% [3, 16]. В протилежному випадку рівень коливань ґрунту може бути більшим і від вибуху однієї ступені [8, 16, 20]. Слід відмітити, що є проблематичним, при проведенні короткосповільненого вибуху зарядів, з'єднаних неелектричною системою ініціювання, визначення фактичної кількості вибухаючих зарядів в одній групі, як по паспорту масового вибуху, так і по осцилограмам.

Виходячи із практичної доцільності пропонується приймати за розрахункову масу ВР масу найбільшої ступені.

Можливість введення охоронної споруди у коливальний режим визначається не тільки інтенсивністю коливань ґрунту в його основі, а і їх тривалістю [17]. В зв'язку з цим визначений інтерес представляють роботи по дослідженню часового режиму формування вибухового імпульсу [3, 9, 10, 16], в яких відмічається, що :

- стабілізація вибухового імпульсу відбувається після підриву перших 3-5 ступенів [3];
- різке відхилення маси ВР в невеликій кількості ступенів від середнього для всього КСП не позначається на величині швидкості коливань ґрунту [10];
- інтенсивність коливань ґрунту визначається середньою масою ВР ступені, а їх тривалість – числом ступенів [3, 9, 10].

Є небагаточисленні роботи [3, 5, 21], де на тривалість коливань ґрунту не звертають уваги, в результаті чого рекомендується не обмежувати загальну масу ВР [1, 5], а в якості критерію оптимальності буровибухових

робіт (БВР) розглядати тільки степінь зменшення інтенсивності коливань ґрунту, що визначається числом ступенів [3].

В [21] визначення розрахункової маси ВР для БВР у безпосередній близькості від охоронної споруди виконано у припущенні, що у формуванні основного вибухового імпульсу, визначаючого найбільшу швидкість зміщення часток ґрунту, беруть участь тільки ті імпульси від вибуху одиночних зарядів, які наближаються до споруди в проміжок часу, рівному першому півперіоду коливань ґрунту. Всі інші в результаті дифракції зливаються в єдиний процес істотно меншої інтенсивності.

Ці дані достатньо добре відповідають результатам, що одержані у [10, 16, 22], де вказано, що при близьких вибухах суттєве значення має розмір вибухового поля. Але в приведених вище дослідженнях не встановлені кількісні та якісні зв'язки між власними частотними гармоніками об'єктів та найбільш наближених до них типів сейсмічних хвиль. Визначення останніх потребує розробки методу щодо аналізу траєкторій руху часток ґрунтів із осцилограм КСП.

Розглядаючи вплив числа ступенів при КСП- важливим параметром є число ступенів, на які розділяється загальна маса ВР, яка і визначає як інтенсивність вибухового імпульсу, так і його тривалість. Останній фактор прискорює появу і розвиток пошкоджень при вибухах. Однак, в роботах [3, 17, 23 – 26] встановлено, що розділення загальної маси ВР при числі ступенів більше 10 практично не позначається на подальшому зниженні інтенсивності коливань ґрунту, незважаючи на широкий діапазон сповільнень (20 – 210 мс). Принципово такий же результат отримано при збільшенні числа ступенів з рівними масами ВР [22] і розділенні загальної маси ВР по окремим свердловинам [27], хоча природа явищ тут інша: якщо при КСП відбувається «розтягування» енергії вибуху, то у даному випадку основна роль належить дифракції хвиль від різних, хоча і одночасно підірваних, свердловин.

Одержані результати дають основу сумніву в однозначності залежності інтенсивності коливань ґрунту при вибухах тільки від маси зосереджених свердловинних зарядів ВР на ступінь сповільнення. Якщо б це було так, то при розділенні загальної маси зосереджених свердловинних зарядів ВР при КСП на N ступенів зменшення інтенсивності коливань ґрунту визначалось би відношенням $1/N$, але на практиці останнє відношення має більше значення.

При проведенні КСП відбуваються складні дифракційні процеси, які приводять до збільшення динамічного ефекту вибуху, відбувається також вплив розосереджених свердловинних зарядів ВР в схемі підривання на інтенсивність вибухових коливань і вплив співвідношень частотних характеристик вибухових хвиль і власних коливань пластів ґрунту та інше.

Час сповільнення між підриванням окремих ступенів.

Розглядаючи ґрунт як динамічну систему, практично всі дослідники зазначають суттєвий вплив величини сповільнення на зменшення сейсмічного ефекту вибухових робіт, вказуючи при цьому, що для кожного типу ґрунту є оптимальне сповільнення, при якому відбувається мінімізація динаміки хвильових дій [16, 25, 28].

В тих випадках, коли сповільнення близьке до періоду власних коливань ґрунту, відбувається різке посилення динаміки, тобто починають реалізовуватись резонансні явища.

В [13] показано, що при проведенні КСП, яке складалось із семи ступенів зі сповільненням 34 мс, і миттєвого вибуху з масою ВР рівною масі ВР ступені КСП, пік спектру Фур'є швидкості при КСП відповідав частоті підривання ступенів (біля 29 Гц), а швидкості коливань ґрунту були в обох випадках близькими до резонансних.

При використанні великих сповільнень вибуховий імпульс розділяється на окремі цуги [13, 29], тобто КСП розділяється на окремі вибухи, кожний із яких визначається вибухом відповідної ступені.

У ряді робіт [30 – 32] вплив сповільнення на зменшення інтенсивності сейсмічних хвиль досліджується тільки теоретично з застосуванням

імовірних методів. Результати досліджень показують, що зменшення швидкості коливань ґрунту відбувається завжди, коли сповільнення дорівнює половині періоду власних коливань ґрунту, тобто, коли імпульси окремо підірваних груп послідовно підходять до точки реєстрації зі зсувом фаз на $1/2$. Структура таких досліджень нестійка і дуже чутлива до стабільності сповільнень, так як пік часу спрацювання промислових сповільнювачів і електродетонаторів досягає 10% і більше від номіналу, тому потребує експериментальної перевірки. При цьому час ініціювання однієї ступені може перевищувати виставлене сповільнення і підриг наступної ступені може початись раніше, ніж закінчиться час попередньої [33, 34]. При такій ситуації імпульси при підриванні послідовних ступенів накладаються один на одного, що суттєво деформує прогнозовану картину коливального процесу.

Визначальним фактором, що впливає на сейсмічну дію промислових вибухів є кількість заряду ВР (кількість свердловинних зарядів ВР на інтервал сповільнення при КСП). Ця сумарна маса ВР впливає як на амплітуду пружних коливань, так і на частотно-енергетичну характеристику сейсмічних хвиль. Амплітуда сейсмовибухових хвиль зростає із збільшенням маси заряду. Значний вплив на інтенсивність сейсмовипромінювання визначає кількість свердловинних зарядів, які вибухають миттєво і створюють небезпечне сумарне хвильове поле. При цьому існуюча методика передбачає, що таке хвильове поле створюється виключно зосередженими зарядами і безпечна їх маса визначається по формулі М. А. Садовського [6]:

$$Q_{\text{доп}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{K} \right)^{3/n} \cdot r^3, \quad (1.1)$$

де $U_{\text{доп}}$ – швидкість сейсмічних коливань, м/с;

K – коефіцієнт пропорційності, $\text{м}^{n+1}/\text{с} \cdot \text{кг}^{n/3}$;

r - відстань від місця вибуху до об'єкту, що охороняється, м;

n - показник ступеня затухання.

Значення коефіцієнтів сейсмічності K та n , одержують розв'язанням прямих задач експериментального плану в залежності від гірничо-геологічних умов кар'єрів, на яких проводяться масові вибухи.

В роботах [35, 36] розроблені алгоритми математичного моделювання дії вибухів сферичних та циліндричних зарядів ВР в різних середовищах та взаємодії сейсмовибухових хвиль з межею розділу середовищ у гірських масивах з порожнинами, які дозволяють аналітично визначати геометрії фронтів поперечних і поздовжніх хвиль, які відбилися від граничних поверхонь і проникають через них, а також додаткові напруження в прифронтових зонах будівель, і ґрунтуються на застосуванні променевого методу. Останній опирається на знання кінцевих параметрів руху хвиль і не враховує їх змін в середовищі, яке відображає реальну характеристику профілів розповсюдження сейсмовибухових хвиль від масового вибуху до об'єктів, що охороняються і яке не можливо описати математично. Тому такі аналітичні побудови характерні тим, що дозволяють прогнозувати в першому наближенні інтенсивність сейсмічних коливань тільки безпосередньо біля об'єкту, що захищається, і не можуть застосуватися в чистому вигляді для сейсмооцінки відповідальних об'єктів (типу підпірні стінки, греблі ГЕС та ін.).

І саме тому на сьогодні застосування емпіричних моделей, які будуються на результатах експериментальних досліджень, отриманих при розповсюдженні сейсмовибухових хвиль по профілю масовий вибух - відповідальні споруди, і спираються на дані сейсмограм, отриманих в відповідальних точках профілю, і їх екстраполяцію з застосуванням закону геометричної подоби Ньютона в емпіричні залежності, дають можливість надійно проводити сейсмопрогноз при проведенні масових вибухів на кар'єрах. В табл.1.1 приведені існуючі способи оцінки сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання, розроблені різними науковцями, які основані на врахуванні маси ВР, що вибухає, миттєво в максимальній групі. Аналіз цих залежностей показує, що оцінку сейсмоефекту КСП проводять як

вибух з'єднаних у групу максимальної кількості свердловинних зарядів ВР, а не розосереджених та без урахування умов складення їх хвилевих коливань від окремих свердловинних зарядів.

Таблиця 1.1— Способи оцінки сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання

Автор; Нормативні документи	Формула	Оцінка інтенсивності
ДСТУ4704:2008 Держстандарт України	$V = K \cdot N \left(\frac{Q_{\text{сф}}^{1/3}}{r} \right)^{1.5}, \text{ см/с} \quad (1.2)$	$Q_{\text{св}},$ Т(с)
БОЙКО В.В.	$R = \frac{R_2 \cdot R_1}{\sqrt{R_2^2 + (R_1^2 - R_2^2) \cos^2 \varphi}}, \text{ м} \quad (1.3)$	$Q_{\text{ср}}^{\text{max}},$ Кут на об'єкт
КУЗЬМЕНКО А.О.	$Q_{\text{сф}} = Q_{\text{св}} \left[\left(1 - \frac{1}{N} \right) \cdot c + \frac{1}{N} \right] \quad (1.4)$	$Q_{\text{св}}$
	$Q_{\text{сф}} = 0,43 Q_{\text{заг.з.}} \cdot e^{0,15 \cdot \frac{r}{l}} \quad (1.5)$	$Q_{\text{ноз}}$
ХЛЕВНЮК Т.В.	$Q_{\text{дон}} = \left(\frac{U_{\text{дон}}}{m \cdot K} \right)^{3/n} \cdot r^3 \quad (1.6)$	$Q_{\text{ср}}^{\text{max}},$ Т(с)
БОЙКО В.В. (мл)	$K_c = \frac{\sqrt[3]{N^n} \cdot Q_{\text{заг}}}{N \cdot \tau_{\text{заг}}} \quad (1.7)$	кг/1мс
США в промисловій сейсміці. (Англія, Індія, Франція)	$U = K \left(\frac{r}{\sqrt{Q}} \right)^{-n} \quad (1.8)$	$\text{м/кг}^{1/2}$ см/с
Інститут фізики Землі і ЦПЕС „Союзвибухпрому”	$\nu = \frac{K}{\sqrt{n}} \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1,5} \quad (1.9)$	$Q_{\text{заг}}$
Гірниче бюро США	$A = \frac{Q^{2/3}}{100} (0,07 \cdot e^{-0,00143 \cdot r} + 0,001) \quad (1.10)$	кг/1мс
У. Лангефорс, Швеція	$U = K \sqrt{\frac{Q}{R^{3/2}}} \quad (1.11)$	$\text{м}^{3/2}/\text{кг}$
НІГРИ, Кривий Ріг	$U = \frac{K \sqrt{Q^3}}{r^n} = K \cdot Q^{3/2} \cdot r^{-n} \quad (1.12)$	$Q_{\text{заг}}$

Тому важливим для виявлення максимального сейсмічного поля при КСП є визначення критеріїв саме по параметру сейсмічних хвиль від вибуху одиничного заряду. Це дозволить вирішити питання про можливість визначення максимальної маси ВР на ступінь уповільнення, прийнявши її як сейсмічний ефект всього КСП на кар'єрах по кількості тих одночасно підірваних свердловинних зарядів, що утворюють максимальне хвильове поле.

З проведеного аналізу результатів теоретичних і експериментальних досліджень вітчизняних та зарубіжних авторів, а також узагальнення досвіду з гірничої сейсміки випливає, що масштаби промислових вибухів зорієнтовані на методику оцінки сейсмобезпеки короткостовільнених масових вибухів по масі заряду вибухової речовини, яка миттєво вибухає в максимальній групі, не враховуючи умов складення хвильових коливань на основі зсуву фаз хвиль окремих свердловинних зарядів, які слід розглядати не як зосереджених, а розосереджених зарядів. Ці фактори впливають на зміну реальної кількості зарядів в групі та маси заряду тобто на сейсмічне навантаження на навколишнє середовище, що і призводить до помилкових оцінок сейсмоефекту КСП.

1.2 Аналіз зарубіжних та вітчизняних норм сейсмічної безпеки для будівель і споруд при технологічних вибухах у кар'єрах

Нормування безпеки охоронних будівель і споруд при вибухах забезпечується дотриманням допустимих швидкостей коливання ґрунту в їх основі. Визначення допустимої швидкості, як визначального параметру кінематичного збудження охоронної споруди, в нормативних документах приводиться на основі різних передумов і з різним ступенем їх деталізації: від загального виду вказівок на тип охоронної споруди, до детальної їх характеристики з визначенням технічного стану, типу фундаменту і ґрунтів

основи. Встановлюється співвідношення між сейсмостійкістю споруд, визначеної по СНіП-7-81 в балах, і допустимою швидкістю коливань ґрунту в основі споруди [37] в залежності від кратності підривання, яка суттєво відрізняється від значень шкали MSK-64 як для одиночних, так і для багатократних вибухів.

В той же час в деяких роботах обмежуються простою вказівкою про необхідність зменшення при багатократному підриванні допустимої швидкості вибухових коливань ґрунту у два рази [28], на 25% [3], або на один бал [23].

Вимоги нормативних національних організацій.

Багато які країни і міжнародні організації нормують інтенсивність коливання ґрунтів і конструкцій охоронюваних споруд від вибухових навантажень, не приводячи тих міркувань, на основі яких це проводиться. В одних країнах є національні нормативи, у других – тільки відомчі рекомендації, у третіх – користуються нормативами інших країн, або міжнародних організацій.

Узгодження норм між різними організаціями навіть однієї країни, як і критеріїв, визначаючих інтенсивність коливань ґрунту і споруд, стоїть достатньо гостро. Так, наприклад, у США іде тривале вияснення відносин між OSM (нормативна організація), Апеляційним судом і USBM (дослідна організація) з приводу допустимої величини швидкості коливання ґрунту при вибухах [38]. В цьому спорі практики схиляються до використання рекомендацій USBM, оскільки по нормах OSM при переході через частоту 40 Гц величина допустимої швидкості змінюється стрибком у два рази.

В Англії аналогічний спір йде між Виконавчим комітетом по відкритих розробках національного вугільного управління і місцевою владою районів проведення підривних робіт [39], в Австралії – між Асоціацією стандартів Австралії і Міністерством шахт [40]. В Німеччині багато хто з прикладників критикують норматив DIN 4150 [41] через його малу обґрунтованість експериментальними дослідженнями і використання при його розробці в

основному результатів рішень диференціальних рівнянь, що в сполученні з жорсткістю нормативу і внутрішніми протиріччями, робить його практично неприйнятним [42]. Так, наприклад, при рихленні ґрунту вибухами в границях житлової забудови в Баден - Баден [43] нормативні швидкості були суттєво завищені і без будь-яких негативних наслідків за п'ять місяців було виконано 500 вибухів сумарною масою ВР по 320 кг кожний.

Кожна нормативна організація, в першу чергу, прагне відобразити у своїх вимогах характерні для даної країни геолого-рельєфні умови і тип будівництва, що цілком реально для невеликої по розмірах країни. Так, наприклад, норми Швеції відносяться в основному до споруд на скельних породах, в Канаді вони були розроблені спеціально для забезпечення безпеки будівництва залізничних споруд при вибухах масою до 700 тон ВР у вапняках на дуже невеликих відстанях від охоронюваних споруд, в Японії, країні з високою сейсмічною активністю, рекомендації знаходяться під сильним впливом норм сейсмостійкого будівництва.

Все це приводить до того, що величина допустимої швидкості коливання ґрунту при вибухах визначається по різним нормативам і лежить в достатньо широкому діапазоні. Так, наприклад, для частоти 10 Гц, характерною для більшості будинків і споруд, допустима швидкість змінюється від 2 до 20 мм/с . На рис. 1.1. приведені Національні норми сейсмобезпеки при проведенні вибухових робіт, прийняті в різних країнах в т. ч. в Україні.

Наукові основи сейсмопрогнозу промислових вибухів були розроблені в радянському союзі ще у минулому столітті. Для оцінки інтенсивності сейсмоколивань від вибухів широко використовується метод подоби, приведений вище, відповідно до якого існує пропорційність між радіусом заряду із сейсмобезпечною відстанню, а швидкість коливань, що характеризує інтенсивність сейсмохвиль, визначається за формулою (1.1).

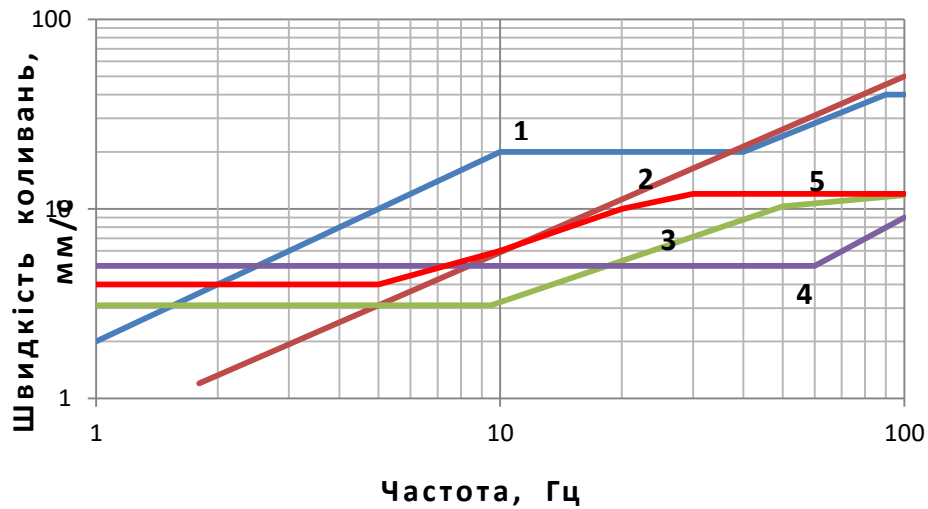


Рисунок 1.1 – Національні норми сейсмобезпеки при проведенні вибухових робіт. Графіки допустимих норм: 1 – США; 2 – Австралія; 3 – DIN 4150 (Німеччина); 4 – Швейцарія, 5 – ДСТУ 4704-2008 (Україна)

Ця залежність була покладена в основу нормативного документа Єдиних правил безпеки при вибухових роботах (ЄПБВР), які діяли при радянському союзі та до 2012 року в Україні. З 2012 року вступили в дію НПАОП О.ОО-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення»[44], в яких норми сейсмічної безпеки промислових вибухів визначаються у відповідності ДСТУ 4704:2008 «Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки» [45, 46]. В останніх, також використовується метод подоби та, виходячи з отриманого значення швидкостей коливань ґрунту і частоти, визначають рівень сейсмічних коливань у балах, а допустима маса заряду обмежується у максимальній групі з інтервалом сповільнення більше 20 мс. Слід відмітити, що установлені допустимі норми швидкості коливань ґрунту стосуються лише фундаментів будівель і споруд I і II категорії в залежності від частоти їх коливань та безпечних відстаней за дією сейсмічних хвиль, збуджених зарядами, які вибухають миттєво в максимальній групі. При цьому цей метод

визначення параметрів сейсмовибухових хвиль для безпечної експлуатації будівель і споруд потребує удосконалення в частині одержання фактичної кількості зарядів, так як на практиці заряди, які вибухають миттєво в максимальній групі, не завжди відповідають сейсмоефекту всього короткосповільненого вибуху, який впливає на стійкість цих об'єктів. Це пов'язано з тим, що схеми вибухових мереж не завжди відповідають фактичній кількості зарядів, яка вибухає миттєво в групі з реально змонтованими сповільнювачами. Крім того, існуючі методи оцінки сейсмостійкості окремих, таких як гідротехнічні, та відповідальних інженерних споруд (наприклад, підпірні стінки дробарок на кар'єрі) не відображені в Правилах безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення (НПАОП О.ОО-1.66-13 п.6.9). До теперішнього часу сейсмічний вплив всіх свердловинних зарядів ВР, які короткосповільнено підриваються на блоці і які б в повній мірі забезпечили допустимі норми сейсмічної безпеки, в районах розташування будівель і споруд не мають повного теоретичного і практичного обґрунтування, що приводить до руйнування їх тріщинами, хоча розрахунки проводяться відповідно до існуючих в Україні норм. Це, в першу чергу, пов'язано з недосконалими методами визначення параметрів сейсмовибухових хвиль, які збуджуються короткосповільненим вибухом зарядів, з'єднаних неелектричними системами ініціювання, та їх обробкою, а також відсутністю допустимих норм швидкості коливань ґрунту для деяких категорій будівель і споруд.

Таким чином, тільки дослідження у конкретних умовах дозволяють, уточнити методики оцінки сейсмобезпеки відповідно ДСТУ 4704:2008, що не враховують взаємозв'язок маси заряду ВР, інтервал сповільнення, час сповільнення при розповсюдженні детонаційної хвилі, технологічні схеми вибуху з різними системами ініціювання та інші фактори зі швидкістю сейсмічних коливань, що є показником сейсмостійкості будівель.

1.3 Сучасні методи оцінки сейсмічної дії КСП на павколишне середовище кар'єру і постановка задач досліджень

Наведений вище аналіз досліджень по оцінці параметрів сейсмовибухових хвиль короткосповільнених вибухів свердловинних зарядів ВР на кар'єрах показує, що незважаючи на їх реалізацію в практиці вибухових робіт, щодо прогнозу далеко розташованих об'єктів, ще не вичерпані можливості для близьких і відповідальних об'єктів, що охороняються. Так визначення максимально сумарних амплітуд швидкості зміщення ґрунту під об'єктами, що охороняються, проводиться при умові накладання сейсмічних коливань, створених тільки від вибуху зосереджених зарядів, які утворюють небезпечні умови для різного типу об'єктів. При цьому не враховуються дії накладання сейсмічних коливань, створених вибухом розосереджених свердловинних зарядів ВР, а також нема визначення в межах якого відрізка часу періодів коливань хвиль відбувається накладення від цих зарядів хвильових полів. Також потребує підтвердження і визначення границі утворення сумарного хвильового поля від вибухів, яких саме розосереджених чи зосереджених окремих свердловинних зарядів, шляхом дослідження інтерференції цих хвиль.

Існуючі способи оцінки сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання засновані на врахуванні загальної маси вибухової речовини, що вибухає, або маси максимальної групи і зводяться до одержаних різними авторами для конкретних умов формулами (табл.1.1). У Державному Стандарті 4704:2008 «Правила проведення гірничих вибухів. Норми безпечності сейсмічних коливань ґрунту», яка є нормативною базою, враховується еквівалентна маса ВР та частота, кількість короткосповільнених груп, але за умови, що вони розділені інтервалом сповільнення не меншим ніж 20 мс. Отримані залежності авторів, наведених у цьому розділі, свідчать, що розраховані за ними оптимальні інтервали сповільнення, з точки зору

якості подрібнення гірничої маси, мають діапазон значень менше 20 мс у той час, як у існуючих сейсмічних прогнозах вони не враховуються.

В результаті аналізу теоретичних і експериментальних досліджень вітчизняних і зарубіжних авторів з оцінки параметрів сейсмовибухових хвиль короткосповільнених вибухів свердловинних зарядів ВР на кар'єрах, а також передового досвіду вибухових робіт в різних гірничо-технологічних умовах видобувних підприємств встановлені певні помилки, щодо прогнозу сейсмічного ефекту КСП і намічені наступні напрямки в їх вирішенні:

- стосовно досліджень в яких застосовується метод, при якому фіксується інформація про сейсмічні коливання об'єктів, що охороняються в точці їх реєстрації у вигляді відповідних осцилограм потрібно удосконалення, щодо одержання даних по координатними осями по різних типам сейсмічних хвиль та їх амплітудно-частотним спектрам;

- потрібно з'ясувати характер і закономірності впливу часових затримок при проходженні відстані між окремими, як зосередженими, так і розосередженими свердловинними зарядами ВР на формування сумарного хвильового поля під об'єктами, що охороняються;

- потрібна розробка способу визначення інтервалів уповільнення в умовах розповсюдження розосереджених зарядів, які утворюють сумарне хвильове поле для запобігання явищам накладання сейсмічних хвиль в районі об'єктів, що охороняються;

- потрібно удосконалити методології аналізу результатів моніторингу масових вибухів у кар'єрах щодо сейсмічного впливу їх на гідротехнічні і інженерні споруди та розробити рекомендації по сейсмобезпечному веденню вибухових робіт.

Виходячи з проведеного аналізу наукових і практичних досягнень і виявлених при цьому недоліків з даного напрямку, сформульовані наведені раніше основні завдання досліджень і вибрані відповідні методи їх вирішення.

Слід зазначити, що сформульовані завдання досліджень є складовою частиною важливої науково-прикладної державної проблеми техногенної та природної безпеки в Україні. Указ президента України про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 11 листопада 2002 року "Про стан техногенної та природної безпеки в Україні" (вирішити разом із Національною академією наук України питання щодо створення спеціалізованої лабораторії для систематичного нагляду за рівнем сейсмічного впливу технологічних вибухів, які проводяться для потреб підприємств гірничорудної галузі, на навколишнє природне середовище). Актуальність основних аспектів розвитку вибухової справи в промисловій сейсмобезпеці розглядається у роботах [1, 44-47].

Удосконалення відомих і розробка нових технологій вибухових робіт в кар'єрах, в т. ч. наближених до відповідальних об'єктів і споруд, нових способів і систем ініціювання забезпечують 100% -у надійність вибуху і його сейсмічну, екологічну безпеку та входять до нових пріоритетних напрямів в галузі промислової сейсмобезпеки [1, 2].

У даній роботі викладені результати багаторічних досліджень по обґрунтуванню методу прогнозу сейсмічного ефекту КСП за рахунок визначення інтервалів уповільнення тих свердловинних зарядів, які визивають сейсмонезбезпеку, що реалізуються в схемах короткосповільнених вибухів свердловинних зарядів ВР в кар'єрах.

Проведений аналіз літературних та патентних джерел з досліджень в гірничій промисловості показав наступне:

- в умовах проведення апаратурних вимірів в районах наявності перешкод докільля динамічних впливів різного походження потребує удосконалення спосіб обробки сейсмограм методом низько-частотної фільтрації сигналів;
- дослідження в яких застосовується метод, при якому фіксується інформація про сейсмічні коливання об'єктів, що охороняються, в точці їх реєстрації у вигляді відповідних осцилограм потребують удосконалення, щодо

одержання даних по координатних осях по різних типах сейсмічних хвиль та їх амплітудно-частотних спектрах;

- потребує розробки методика по визначенню фактичної кількості одночасно підірваних зарядів по причині розкиду часу їх ініціювання при застосуванні неелектричної системи ініціювання зарядів типу Nonel;

- потребує удосконалення методологія аналізу результатів моніторингу масових вибухів у кар'єрах, щодо сейсмічного впливу їх на будівлі і споруди з урахуванням їх власних гармонік, призначення та технічного стану;

- потребує удосконалення методика визначення гранично допустимої маси вибухової речовини (ВР) на ступінь уповільнення, не як зосереджену масу заряду, а як групу розосереджених свердловинних зарядів, які впливають на сейсмостійкість гідротехнічних і інженерних споруд, розташованих навколо кар'єру.

Існуючий спосіб прогнозу сейсмічного ефекту КСП оцінюється по максимальній масі ВР на ступінь уповільнення зосереджених зарядів, з'єднаних в одну систему ініціювання (групу). При цьому вважається, що ця група впливає на сейсмостійкість будівель і споруд, розташованих навколо кар'єру, хоча на практиці мають місце виникнення явищ складення сейсмічних хвиль від вибуху окремих розосереджених свердловинних зарядів. Тому подальший розвиток досліджень направлений на експериментальне удосконалення методів прогнозування сейсмічного ефекту КСП, щодо безпеки будівель та споруд, наближених до місць проведення промислових вибухів, для запобігання явищам небезпечного складення сейсмічних хвиль в районах розташування цих об'єктів та розробки математичної моделі розрахунку інтервалів уповільнення в схемах КСП тих свердловинних зарядів, які можуть визивати сейсмонебезпеку.

На основі аналізу сучасних досягнень науки та теоретичних узагальнень було сформульовано вище вказані мету і задачі досліджень.

РОЗДІЛ 2

АПАРАТУРНІ КОМПЛЕКСИ РЕЄСТРАЦІЇ СЕЙСМОВИБУХОВИХ ХВИЛЬ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗШИФРОВКИ ОСЦИЛОГРАМ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОЦІНКИ СЕЙСМОБЕЗПЕКИ

2.1 Вибір сейсмоапаратури, її комплексів та методика виміру параметрів сейсмовибухових хвиль при масових вибухах у кар'єрах

Проведення досліджень для удосконалення методу прогнозування сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання щодо безпеки будівель та споруд, наближених до місць проведення промислових вибухів, пов'язані з вимірами параметрів сейсмовибухових хвиль при масових вибухах у кар'єрах з подальшим визначенням явищ небезпечного складання сейсмічних хвиль з власними частотами об'єктів, що охороняються. Ці дослідження вимагають розробки положень і вимірювальних засобів служби вимірювань, її ефективного функціонування в розв'язуваних наукових завданнях і втілення їх в конкретних умовах. Тому при проведенні експериментальних досліджень по вивченню сейсмічних властивостей гірського масиву існуючого родовища і перенос їх на об'єкт, що охороняється, який розташований поблизу кар'єру, обрана апаратура повинна забезпечити не тільки виміри швидкості коливань, але й програму спектрального аналізу всього коливального процесу «місце вибуху – гірський масив - об'єкт» у взаємозв'язку з його сейсмостійкістю, робочим тиском, технічним станом і т. ін. У такий спосіб одним із завдань, яке ставилося для досягнення мети даної роботи, стала розробка методики сейсмічних вимірів для вибору необхідних структурних схем апаратурної реєстрації коливань, обробка результатів вимірів і досягнення ймовірності отримання достовірних даних в умовах проведення масових вибухів. Обрані сеймоприймачі і засоби реєстрації мають забезпечити не тільки необхідні вимоги до сейсмічних вимірів і контроль сейсmobезпечності, але також дати

можливість володіти необхідною інформацією про умови вибуху й сейсмовибухові хвилі, що дозволяє одержати такий збір кількісних показників по впливу сейсмовибухових хвиль на об'єкти, що охороняються, який з достатнім ступенем точності міг би підтвердити, або спростувати результати аналітичних досліджень і одержати нові дані в конкретних умовах.

Для запису параметрів сейсмовибухових хвиль, які виникали при масових вибухах у кар'єрі, була вибрана наступна сейсмоапаратура та її комплекси: аналого-цифрова вимірювальна апаратура (сейсмоприймачі СМ-3 і СМ-3В), реєстратор - аналого-цифровий перетворювач (АЦП Е-440) і ноутбук, а також три комплекти сейсмографів Mini Mate Plus виробництва Канада (рис.2.1, 2.2).

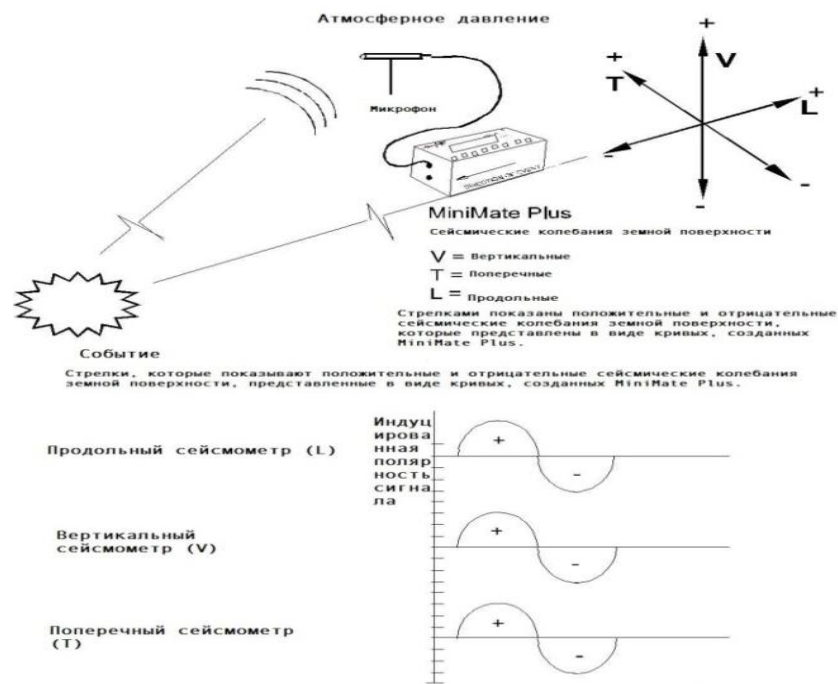


Рисунок 2.1– Реєстрація сейсмічних та ударно-повітряних хвиль сейсмографом Mini Mate Plus



Рисунок 2.2– Встановлення Mini Mate Plus з використанням стержнів для установки на землі

Комплекс аналого-цифрової вимірювальної апаратури сейсмографів Mini Mate Plus дозволив одночасно вимірювати сейсмічні коливання земної поверхні і атмосферний тиск в 3-х різних об'єктах не залежно від місця їх розташування. Кожний датчик контролю вимірює поперечні, вертикальні і поздовжні коливання земної поверхні. Поперечні коливання земної поверхні активізують горизонтальні зворотно - поступальні рухи частинок ґрунту. Вертикальні коливання земної поверхні активізують вертикальні зворотно - поступальні рухи частинок. Поздовжні коливання земної поверхні активізують рух частинок «вперед- назад», рухаючись назовні з місця подій. Події також впливають на атмосферний тиск створенням того, що зазвичай розглядається як «ударна хвиля». Вимірявши атмосферний тиск, ми можемо визначити вплив енергії повітряного струменя на структури, які вимірюються в «L лінійному» режимі, або які сприймаються людським слухом і вимірюються в «А- зваженому» режимі.

В випадку застосування датчиків СМ-3 і аналого-цифрового перетворювача Е14-440 визначення швидкості сейсмічних коливань, їх частоти й спектральний аналіз проводилися на основі отриманих сейсмограм (рис. 2.3) за допомогою комп'ютерних технологій по спеціально розроблених програмах, а у комплексі Mini Mate Plus ці визначення є табличними у

вигляді протоколів сейсмо і спектрограм, ударно-повітряних хвиль та графік допустимих норм (рис. 2.4).

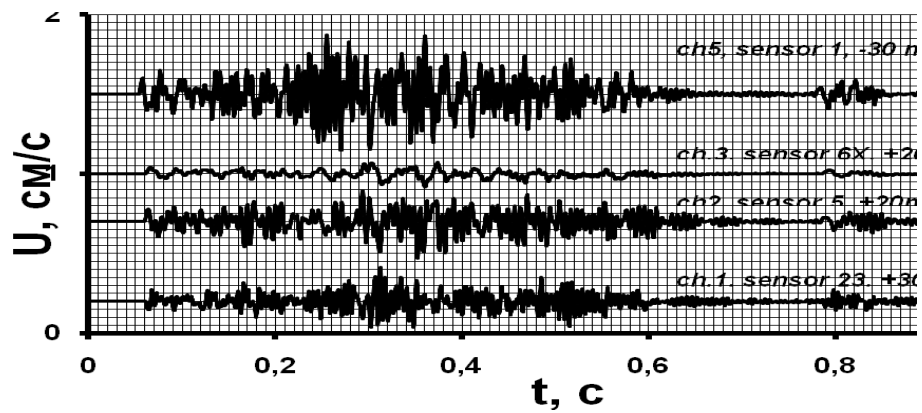


Рисунок. 2.3– Характерні сейсмограми одержані аналого-цифровою апаратурою з застосуванням 5 датчиків СМ-3 для кожного каналу.

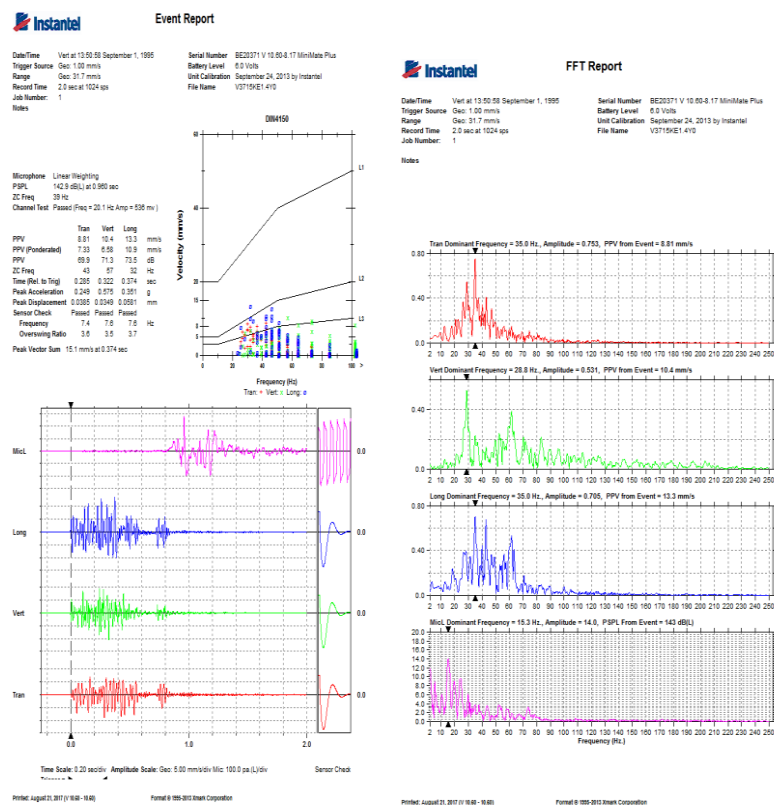


Рисунок 2.4 – Зразки одержаних протоколів сейсмо- спектрограм Mini Mate Plus, ударно-повітряних хвиль та графік допустимих норм (Німеччина)

Обробку експериментальних даних здійснювали методами математичної статистики з одержанням регресії по програмах багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу. Тісноту зв'язку досліджуваних факторів оцінювали по індексу кореляції.

Мінімальне й необхідне число сейсмометричних вимірів обчислювали по формулі:

$$N = 0.2 \frac{3K_{\text{вар}}^2 + 1}{S_0^2}, \quad (2.1)$$

де $K_{\text{вар.}}$ – коефіцієнт варіації, що характеризує розкид експериментальних точок:

$$K_{\text{вар}} = \frac{\sigma}{K_{\text{ср}}} 100\% ;$$

S_0^2 – імовірна помилка визначення коефіцієнта варіації;

σ - середньоквадратичне відхилення;

$K_{\text{ср.}}$ - середньоарифметична величина ряду.

Сейсмічні виміри, проведені в роботі, це виміри швидкості і періоду коливань сейсмовибухових хвиль у ґрунтовому масиві по профільних лініях.

Головною метою сейсмічних вимірів є, на основі комплексних експериментальних досліджень, удосконалити методи оцінки сейсмічної безпеки будівель і споруд, наближених до місць проведення промислових вибухів, для запобігання явищам небезпечного накладання сейсмічних хвиль в районах розташування об'єктів, що охороняються. Встановлення закономірностей взаємодії сейсмовибухових хвиль у коливальній системі «місце вибуху – гірський масив- об'єкт» з урахуванням частотних характеристик коливань ґрунту в різних його профілях [35]. За результатами цих вимірів визначаються в різних діапазонах частот швидкості. Завданнями інструментального контролю є:

а) оперативний контроль над впливами сейсмовибухових хвиль шляхом порівняння фактичних (за показниками сейсмометричної апаратури) рівнів коливань із установленим розрахунковим методом;

б) статистичне нагромадження даних про параметри коливань (швидкості й частоти) і використання їх при корегуванні існуючих масштабів вибуху, вибір безпечних рівнів коливань для будівель та інженерних об'єктів;

в) використання даних сейсмовиявлень від короткосповільненого вибуху системи свердловинних зарядів ВР по характерних профільних лініях для виявлення явища накладення сейсмічних хвиль в районах розташування об'єктів, що охороняються та розробка Рекомендацій з визначення сейсмобезпечних ділянок з існуючої практики проведення вибухів зі схожими гірничо-геологічними і технічними умовами.

Одержані по сейсмограмам дані про параметри коливань (швидкості й частоти) використовують при корегуванні існуючих масштабів вибуху, вибір безпечних рівнів коливань для гідротехнічних та інженерних об'єктів. Тому приведені в даному розділі дослідження по удосконаленню методики розшифровки осцилограм промислових вибухів необхідні для підвищення точності сейсмобезпеки, особливо для відповідальних гідротехнічних та інженерних об'єктів.

2.2 Розробка способу низькочастотної фільтрації сейсмограм, одержаних аналого-цифровим комплексом для підвищення точності оцінки сейсмобезпеки

Як було зазначено в попередньому параграфі, розвиток цифрової та обчислювальної техніки підвищує точність і оперативність отримання та обробки осцилограм. Тому були проведені роботи по оптимізації БВР, а значить і з розвитку методів і засобів контролю сейсмічних коливань.

Підвищення точності сейсмічних вимірів по результатам дослідження з вибору дискретизації сигналів від стандартного сейсмоприймача СМ-3 і аналого-цифрового перетворювача Е14-440 до показників автономного комплексу Mini Mate Plus приведемо далі .

В [48] підняті проблеми створення апаратури для сейсмічних спостережень, зокрема, розглянуті питання дискретизації і фонових перешкод при вимірюванні сигналу, що проходить через нелінійне середовище, що, в свою чергу, призводить до появи кратних частот.

Питання чисельної корекції сейсмограм розглянуті в [49]. У цій роботі авторів цікавив сигнал в діапазоні від 0,01 до 10 Гц, і мета роботи була в розширенні частотного діапазону в напрямку низьких частот, що характерно для вивчення землетрусів. Причому, якщо розглянути опис експериментальних результатів, то можна відзначити, що в першому експерименті (два датчика СМ-3 і два геофони GS-20DX встановлені в підвалі будівлі) дискретизація реалізації була вибрана 100 Гц при тривалості запису 15 хв. У другому експерименті два датчика (СМ-3 і GS-20DX) були встановлені на постаменті і реєстрація велася на трьохканальну сейсмостанцію "ТІМ" з частотою опитування 200 Гц. Відзначимо, що в паспортних даних приймача СМ-3 вказано робочий діапазон частот від 0,5 до 50 Гц, а при вивченні впливів від промислових вибухів, нас цікавить сигнал у всьому робочому діапазоні частот.

В [50] авторами побудована шкала інтенсивності сейсмічних хвиль в залежності від періоду власних коливань споруд T_0 і декременту загасання λ . Підрахуємо частоту коливань ґрунту біля споруди, використовуючи дані таблиці [50], з якої: $T/T_0 = 0,0625$, де: T – період коливань ґрунту, с; T_0 – період власних коливань споруди, с. Тоді $T = 0,0625 \times T_0$, причому значення T_0 з джерела [50] складають 0,2, 0,3 і 0,4 (с). Таким чином: $T = 0,0625 \times T_0 = 0,0625 \times 0,2 = 0,0125$ с, що відповідає $f = 1/T = 80$ Гц. У разі $T_0 = 0,4$, то $f = 40$ Гц.

Чи достатня для реєстрації цих процесів дискретизація 100 або 200 Гц?

Надалі проведемо дослідження з вибору дискретизації сигналів від стандартного сейсмоприймача СМ-3 і аналого-цифрового перетворювача Е14-440 до показників автономного комплексу Mini Mate Plus для побудови схеми його подальшої обробки. З літературних джерел [51] відомо, що для сигналу з найвищою частотою f_c необхідна частота проходження значень вибірки більша ніж частота Найквіста ($2 \times f_c$). З іншого боку відомо, що для передачі синусоїди без спотворень число точок N в інтервалі від 0 до 2π має бути не менше 26 [52]. Тоді крок дискретизації dt буде дорівнювати:

$$dt = 1/(N \times f_c) = 1 / (26 \times 50) = 0,00076 \text{ (с)}$$

З огляду на розвиток обчислювальної техніки і її стандарти вибираємо $dt = 0,0005$ с, що буде відповідати частоті вибірки $f = 2\text{кГц}$.

На рисунку 2.5 представлено сімейство осцилограм, отримане за допомогою датчиків СМ-3 і аналого-цифрового перетворювача Е14-440, з дискретністю вибірки $dt = 0,0005$ с під час промислового вибуху в кар'єрі ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр» 30.07.2014 року.

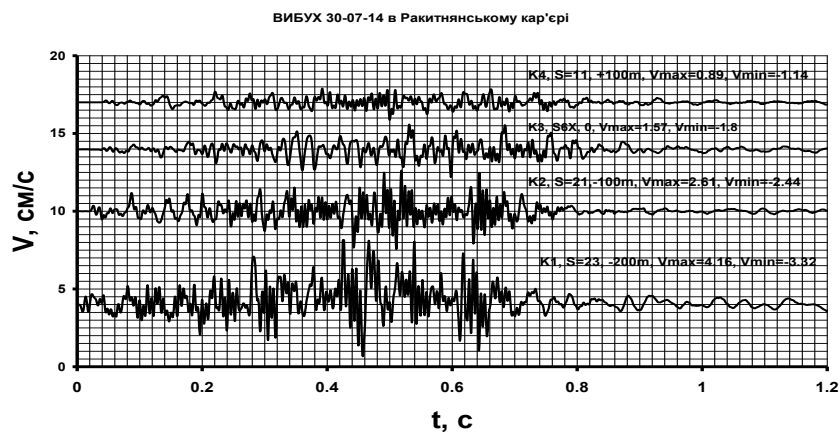


Рисунок 2.5— Сімейство осцилограм отримане за допомогою датчиків СМ-3

Крім цих датчиків в точці "0" (біля житлового будинку) було встановлено автономний комплекс Mini Mate Plus, укомплектований трьох

координатними геофонами з наступними характеристиками: роздільна здатність – 0,127 мм/с; дискретизація 4096 опитувань в 1 секунду. Крім цього комплекс укомплектований фільтром низьких частот, тобто придушуються високі частоти [53]. На рисунку 2.6 представлені осцилограми, отримані із протоколів за допомогою цього комплексу.

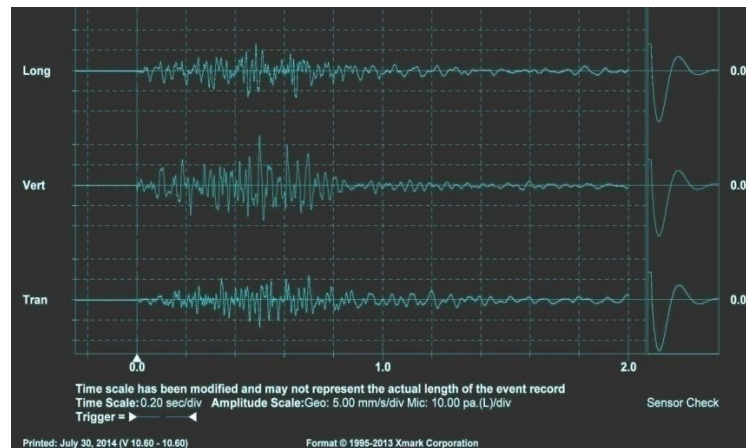


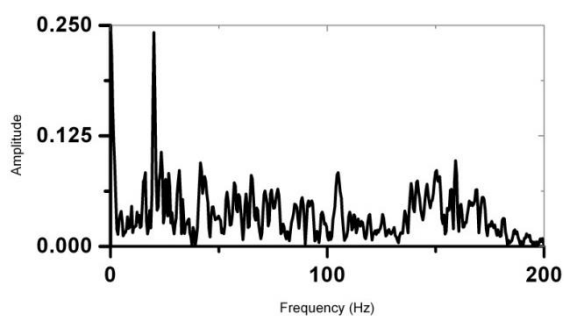
Рисунок 2.6 – Осцилограми, отримані за допомогою комплексу Mini Mate Plus, встановленого в точці "0" під час промислового вибуху в Рокитнянському кар'єрі 30 липня 2014 року

Порівняємо осцилограми на рисунках 2.5 і 2.6. На осцилограмах, представлених на рисунку 2.5, явно присутні високочастотні складові, що підтверджується спектральним аналізом для цих осцилограм (рис. 2.7).

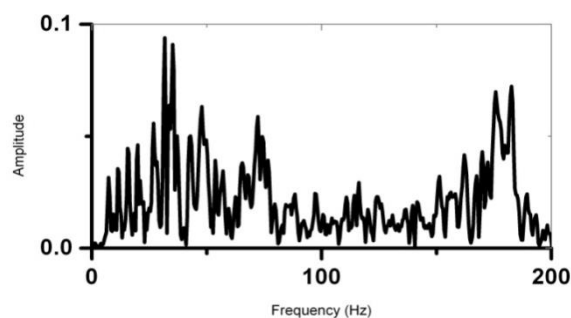
Друга відмінність - це збільшене значення амплітуд швидкостей на рисунку 2.5 в порівнянні з рисунком 2.6, що може бути прояснено накладенням високочастотних сигналів на низькочастотні.

Проведемо фільтрацію сигналів від датчика СМ-3, встановленого в точці "0" (рис.2.7). Як частоти зрізу, тобто граничні частоти, будемо вибирати відповідно частоти 100, 50, 25 і 12 (Гц). Результати представлені на рисунку 2.8 [50,51].

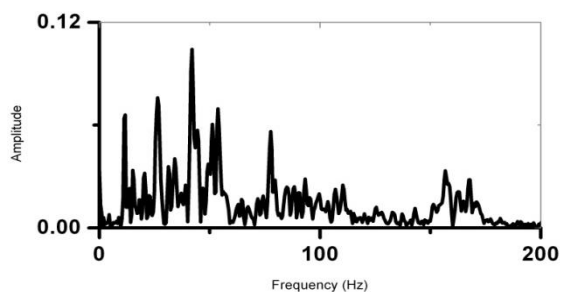
Неважко помітити, як зменшуються значення одного і того ж сигналу в залежності від граничної частоти фільтру.



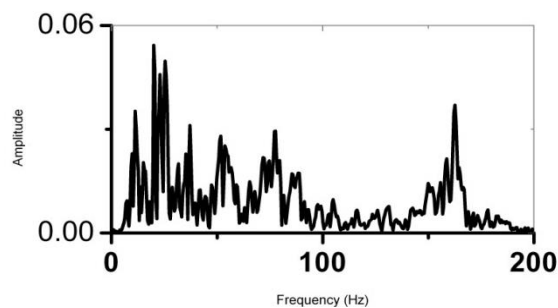
а) датчик S=23



б) датчик S=21



в) датчик S=6X



г) датчик S=11

Рисунок 2.7 – Спектральний аналіз осцилограм отриманих за допомогою датчиків СМ-3 і аналого-цифрового перетворювача Е14-440 від дії промислового вибуху 30.07-2014

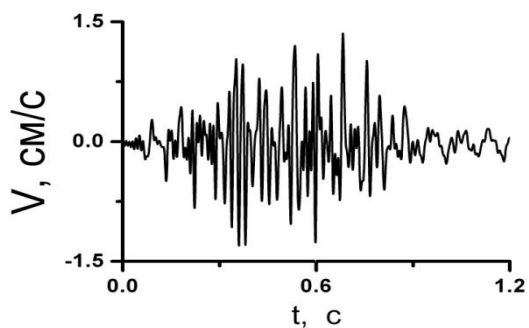
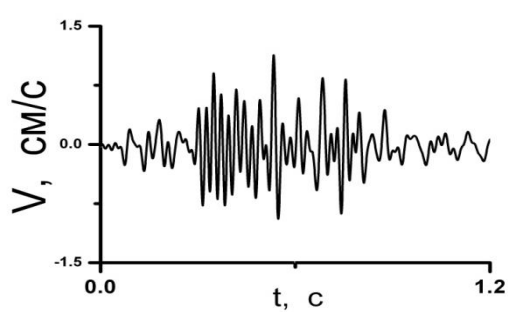
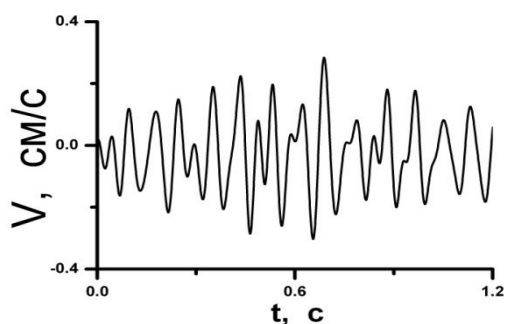
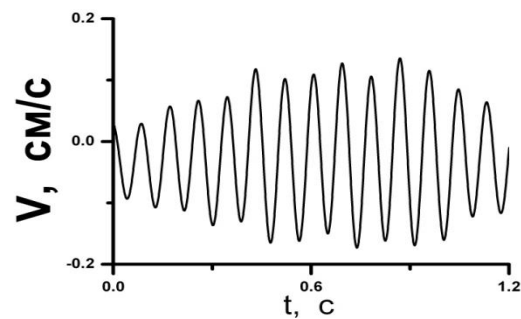
а) $f_c=100$ Гцб) $f_c=50$ Гцв) $f_c=25$ Гцг) $f_c=12$ Гц

Рисунок 2.8– Результати проведеної фільтрації сигналу від датчика S=6X

З нашої точки зору задавати частоту фільтрації вище 50 Гц немає сенсу, оскільки датчик СМ-3 призначений для роботи в частотному діапазоні від 0,5 до 50 Гц. З іншого боку може бути доцільно, аналізуючи дії від промислових вибухів на об'єкт, що охороняється, обмежувати частоту фільтрації в залежності від частоти власних коливань об'єкту, що охороняється? І тоді приймати рішення про допустимість вибуху відповідно до згаданої вище таблиці [50].

Яким чином розвиток засобів контролю сейсмічних коливань, в т. ч. і точність обробки осцилограм, впливає на оптимізацію ведення БВР покажемо на прикладі аналізу результатів сейсмометричних вимірювань параметрів сейсмовибухових хвиль, що згадується вище при масовому вибуху в Рокитнянському кар'єрі 30.07.14 р. Проаналізуємо осцилограму, отриману в точці "0" в основі фундаменту цегляного одноповерхового житлового будинку, що має тріщини в несучих стінах і кутах будівлі.

Критерієм сейсмічної безпеки будівель і споруд, який забезпечує їх збереження під час вибухових робіт, є допустима швидкість сейсмічних коливань ґрунту в основі їх фундаменту (U_0 , см/с), яка відповідно до таблиці 4 ДСТУ-П 4704: 2006 [54] без урахування частотних характеристик сейсмічної хвилі і об'єкту, що охороняється, для розглянутої будівлі дорівнює 1 см/с.

Визначити істинний рух частинок ґрунту з безпосереднього запису сейсмічних коливань при КСП МВ практично неможливо, тому що в результаті поширення різних типів хвиль виникають інтерференційні явища, високочастотні коливання накладаються на низькочастотні і сейсмічний сигнал зовсім не нагадує синусоїдальний рух, а про видимий період коливань не може бути й мови (рис. 2.7). Спотворення в запис вносить і реєструє апаратура, якщо остання не відповідає складу коливального процесу [50].

Як вже було сказано вище, сейсмоприймачі СМ-3, що застосовуються в даному випадку, мають робочий діапазон частот від 0,5 до 50 Гц, а в хвильовому процесі (рис. 2.7) присутні коливання до 200 Гц і це позначається

на якості запису. У подібних випадках необхідно застосовувати фільтрацію сигналу, що нами і було зроблено (рис. 2.8).

Проаналізуємо результати фільтрації на частоті 50 Гц. Справжній запис отриманий від сейсмоприймача, встановленого на основі розглянутої будівлі. З отриманого після фільтрації запису можна досить чітко визначити, що період коливання частинок ґрунту з максимальною амплітудою 1,2 см/с відповідає 0,03 с. Щоб визначити допустиму швидкість коливань для даного житлового будинку (см/с) з урахуванням частотних характеристик системи "ґрунт-будівля" відповідно до формули ДСТУ 7115: 2009 [46] є всі необхідні дані:

$$U_{\text{дон}} = U_o \frac{T_o^2}{T_{\text{см}}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi \lambda_o} \cdot U_{\text{бюд}}}, \quad (2.2)$$

де U_o - допустима швидкість коливання ґрунту в основі будівлі ($U_o = 1 \text{ см/с}$);

T_o - період власних коливань будівлі (табличні дані 0,3 с);

$T_{\text{см}}$ - період коливань стандартного маятника (паспортні дані 0,25 с);

λ_o - логарифмічний декремент загасання будівлі (табличні дані 0,3);

$U_{\text{бюд}}$ - амплітудно-частотна характеристика системи "ґрунт-будівля":

$$U_{\text{бюд}} = \left[\left(1 - \frac{T^2}{T_o^2} \right)^2 + \frac{4\lambda_o^2}{\pi^2 + \lambda_o^2} \times \frac{T^2}{T_o^2} \right]^{-1/2}, \quad (2.3)$$

де T - період коливань ґрунту, с.

В результаті розрахунків отримаємо $U_{\text{дон}} = 1,84 \text{ см/с}$, що говорить про те, що якщо частотні характеристики ґрунту і будівлі далекі від резонансної області коливань, то їх взаємодія буде дуже незначною і критерій сейсмобезпеки може підвищуватися. Перетворивши формулу Садовського до виду формули (1.1), можна визначити залежність маси заряду від відстані і $U_{\text{дон}}$ (таблиця 2.1). Дані таблиці показують, що при однозначних величинах критеріїв сейсмобезпеки виникають ситуації, коли неможливо варіювати масою заряду (наприклад, при масі одного свердловинного заряду 110 кг), а

це стримує ефективність виробництва. Тоді як при використанні фільтрації з'являється можливість більш точно і в повному обсязі обробити осцилограми і в залежності від частоти СВХ розробити рекомендації, що дозволяють ефективно вести вибухові роботи.

Таблиця 2.1–Допустима маса зарядів ВР при КСП

Відстань до охороняємої будівлі, м		300	350	400	450	500
Допустима маса заряду, кг	$U_o=1$ см/с	85	135	200	280	400
	$U_{\text{доп}}=1.84$ см/с	430	680	1000	1450	2000

Висновки до розділу 2

1. Підвищення точності результатів сейсмічних вимірів досягалась завдяки розробленому в роботі вибору дискретизації сигналів від стандартного сейсмоприймача СМ-3 і аналого-цифрового перетворювача Е14-440 по відношенню до показників автономного комплексу Mini Mate Plus. Показано, що дискретизація сейсмовибухової хвилі має бути порядку 0,0005 с.

2. Щоб уникнути накладення високочастотних коливань і, відповідно, збільшення значень сигналу, необхідно фільтрувати з нього високочастотну складову. Частотна фільтрація запису сейсмічних коливань при вибухових роботах повинна бути обов'язковою процедурою, так як при цьому:

- збільшується в рази обсяг результатів сейсмічних досліджень;
- підвищується точність визначення АЧХ;
- правильно визначається значення допустимого критерію сейсмобезпеки МВ;
- збільшується ефективність вибухових робіт.

3. Гранична частота фільтрації не повинна перевищувати зазначену в паспорті на сейсмоприймач величину.

4. Для аналізу впливу сейсмовибухової хвилі на об'єкт, що охороняється, доцільно проводити додаткову фільтрацію.

РОЗДІЛ 3.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ОДНОЧАСНО ПІДІРВАНОЇ МАСИ ЗАРЯДУ ДЛЯ ОЦІНКИ СЕЙСМОБЕЗБЕКИ КОРОТКОСПОВІЛЬНЕНОГО ВИБУХУ У КАР'ЄРАХ

3.1 Концепція формування сейсмічних сигналів масового вибуху від одиначних і групових свердловинних зарядів зкомутованих в одну систему ініціювання.

Аналіз сучасного стану виробництва вибухових робіт показав, що подальше зростання їх інтенсивності і масштабів стримується шкідливим впливом на навколишнє середовище сейсмічних хвиль, що викликаються вибухами. Щоб уникнути такої дії сейсмічних хвиль, а також з метою підвищення ефективності вибухів необхідно більш точно визначати параметри, інтенсивність і допустимі рівні впливу вибухів на навколишнє середовище. Останнє прямо пропорційно залежить від одночасно підірваної маси заряду ВР, а при короткосповільненому вибуху - це маса окремої групи зарядів (кількість свердловинних зарядів ВР), які вибухають у одному ступені уповільнення.

Широке застосування в останні роки неелектричного способу ініціювання зарядів при КСП масових вибухів на основі хвилеводів типу Nonel різко змінило технологію ведення вибухових робіт в кращу сторону як щодо руйнуючої дії вибуху, так і зниження сейсмічного ефекту.

По-перше, значно підвищилася точність ініціювання зарядів, а це призвело до можливості ініціювання не тільки кожного свердловинного заряду, але і всередині його, що в свою чергу сприяє зменшенню сейсмічного ефекту вибуху.

По-друге, за рахунок технічної можливості широкого діапазону зміни інтервалів уповільнення і підвищення точності їх всередині свердловинного заряду ініціювання, покращилася якість дроблення гірської маси породи.

По-третє, підвищилася безпека вибухових робіт: сейсмічна, по розльоту шматків породи і ударно-повітряної хвилі.

Підставою для розробки концепції хвильової оцінки сейсмічного ефекту масового вибуху були численні спостереження, зроблені при сейсмічній реєстрації хвиль від КСП в кар'єрі, що при одних і тих же умовах під час пульсації хвиль зі зсувом фаз (залежно від інтервалу уповільнення між ними) в гірському масиві амплітуда по висоті хвиль від одних зарядів може складатися, а від інших— не може. Дане явище пояснюється тим, що під час руху по гірському масиву хвилі зі зсунутими фазами різні по висоті, довжині, періоду, швидкості поширення і іншим параметрам. При цьому більш короткі хвилі повільніші ніж хвилі довгі. Внаслідок цього довгі хвилі «наздоганяють» короткі і тільки ті заряди, які зі зрушенням фаз до 90° і інтерферують (складаються), створюючи максимальну амплітуду швидкості коливань. В результаті складання кількох хвиль і виникає максимальний сейсмічний ефект, який за амплітудою значно більший і потужніший інших хвиль. Подальше завдання — це визначення кількості зарядів, які випромінюють сейсмічні хвилі з таким зрушенням фаз що інтерферують, створюючи максимальну амплітуду швидкості коливань, тобто визначають сейсмоефект всього масового вибуху.

Пояснюється це явище на прикладі спостереження, яке відбувається під час хвилювання на морі коли висота хвиль помітно коливається і досягає свого максимуму. Дане природне явище пояснюється тим, що під час морського вітрового хвилювання виникають хвилі, різні по висоті, довжині, періоду, швидкості поширення і іншим параметрам. При цьому більш короткі хвилі повільніші, ніж хвилі довгі. Внаслідок цього довга хвиля «доганяє» коротку і вони інтерферують (зливаються) в єдиний вал. В результаті злиття кількох хвиль і виникає вал, який значно більший і потужніший інших хвиль.

Формування сумарного хвильового поля при КСП пов'язана з часовими затримками при проходженні відстані між окремими зарядами. Ці затримки по величині, в залежності від типу порід, можуть мати різні

інтервали уповільнення. З аналізу схем КСП в паспортах масових вибухів поняття маси заряду на інтервал уповільнення, тобто групи зарядів, що підриваються миттєво, в свою чергу спричинило помилки у визначенні допустимої маси заряду для розрахунку сейсмобезпечної відстані. Ці помилки пов'язані з тим, що в паспортах масових вибухів (схемах КСП) замість маси зарядів однієї групи для розрахунку складається маса свердловинних зарядів, які вибухають миттєво на всій діагоналі, відгалуженої від основного хвилеводу. Хоча на цій діагоналі в часі ініціювання зарядів часто більше інтервалів уповільнення основного хвилеводу, тобто зсув їх фаз перевищує половину періоду, тому ці заряди не визначають сейсмічний ефект. В результаті подібних розрахунків помилково визначаються допустимі маси зарядів та сейсмобезпечні відстані, що в свою чергу не забезпечувало стійкість навколишніх об'єктів. Реальну сейсмічну небезпеку визначають тільки ті окремі розосереджені свердловинні заряди, або їх групи (їх амплітуди коливань підсумовуються), які вибухають в проміжок часу, зсув фаз якого не перевищує 90° .

Цей проміжок часу залежить не тільки від маси окремого заряду, але від акустичної жорсткості ґрунту. Тому подальші дослідження, щодо визначення точності часу уповільнення і фактичної кількості розосереджених зарядів ВР, які вибухають в одній ступені уповільнення, набувають важливого значення.

Вищенаведене дозволило визначити концепцію формування хвильового поля сейсмічних сигналів від короткосповільненого вибуху розосереджених зарядів, яка полягає в тому, що розрахунки по визначенню допустимих мас зарядів або сейсмобезпечних відстаней базуються на урахуванні тільки тих одночасно ініціюючих розосереджених свердловинних зарядів (складаються їх маси), хвилі яких, в місцях спостереження, в часі не перевищують половини їх періоду ($\frac{1}{2} T_p$, с).

Для доказової бази наведеної вище концепції проведемо дослідження явищ небезпечного накладання сейсмічних хвиль в масивах гірських порід від вибуху групових розосереджених зарядів ВР.

Складання хвильових коливань, що виникають від вибуху окремих груп при КСП системи розосереджених зарядів, залежать від точки спостереження (ближня чи дальня зони вибуху), відстані між окремими зарядами, типу сейсмічної хвилі, властивостей ґрунтового масиву, інтервалу сповільнення.

У загальному вигляді результативне коливання $x(t)$, що виникає при вибуху системи розосереджених зарядів, записується як:

$$x(t) = \sum_{i=1}^N A_i X_1(t - \Delta t_i + \varphi_i), \quad (3.1)$$

де A_i - амплітуда імпульсу $x_1(t)$ від i -го заряду чи групи зарядів;

N - кількість одиночних зарядів чи груп зарядів;

Δt_i - часовий зсув для i -тої хвилі;

φ - фаза.

Величина Δt залежить від геометрії зарядів, порядку підривання відносно точки спостереження, наявності сповільнювачів:

$$\Delta t = t_c + \frac{a}{D} - \frac{r_1 - r_2}{V}, \quad (3.2)$$

де t_c - інтервал сповільнення, с; a - відстань між зарядами, м;

D - швидкість розповсюдження ініціюючого імпульсу, м/с;

r_1 і r_2 - відстань від точки спостереження до заряду, який підривається відповідно першим і другим, м;

V - швидкість розповсюдження хвилі, що розглядається, по ґрунтовому масиві, м/с.

В ближній зоні вибуху до епіцентральної відстаней $r \leq 2l$ (l – довжина лінії розосередження зарядів, м) параметри хвиль від кожної свердловини будуть різні. В цьому випадку амплітуду і зсув фаз визначають окремо для кожної свердловини і розрахунок сумарної швидкості зміщення ведуть по схемі, показаній на рисунку 3.1 [69].

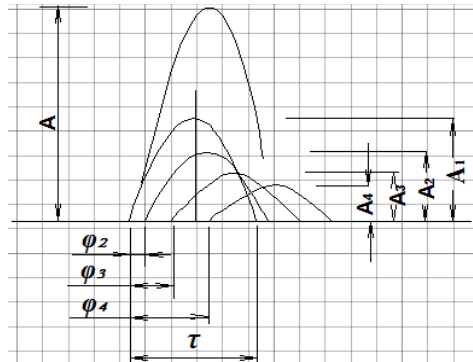


Рисунок 3.1 – Схема визначення сумарної амплітуди коливань поздовжніх хвиль групи розосереджених зарядів

Максимальна сумарна амплітуда швидкості зміщення знаходиться в межах першого напівперіоду хвилі від ближнього свердловинного заряду, тобто в межах відрізка часу $1/2 T$ (T – період коливання хвилі, що розглядається). У розрахунок приймаються тільки хвилі, від вибухів свердловинних зарядів, зсув фаз яких не перевищують 90° . Ці умови є методом визначення кількості розосереджених зарядів, які утворюють сумарне хвильове поле шляхом інтерференції хвиль, що виникають при вибухах окремих зарядів. Інструментом для вказаного визначення кількості ефективних зарядів, які можуть приймати участь у суперпозиції хвиль при миттєвому підриванні, може бути формула для зсуву фаз у ближній зоні [68, 69]:

$$\varphi = \frac{360^\circ \cdot a}{D \cdot T} \pm \frac{360^\circ (r_{i+1} - r_i)}{V \cdot T} \leq 90^\circ . \quad (3.3)$$

Формула (3.3) є підтвердженням того, що сумарне хвильове поле утворюється шляхом інтерференції хвиль, які утворюються при вибухах окремих свердловинних зарядів. При цьому в кожний момент часу в амплітуду коливань вносить вклад не весь ряд розосереджених зарядів, а обмежене число одиночних зарядів, хвилі від яких приходять одночасно чи із зсувом $\Delta t < \tau_t$ (τ_t – фаза стиснення сейсмічної хвилі) [69].

Необхідно відмітити, що при формуванні сумарного хвильового поля при вибухах в скельних чи м'яких ґрунтах може мати місце різна ситуація, що пов'язана з часовими затримками при проходженні відстані між окремими зарядами. Ці затримки у м'яких ґрунтах по величині можуть бути на рівні інтервалів сповільнення (T_3). При значних відстанях між окремими розосередженими зарядами часові затримки виникають при проходженні ініціюючих імпульсів по хвилеводах. Проілюструємо сказане на прикладах [69].

При КСП в міцних гранітах ($V_p \geq 4500 \div 5000$ м/с) величина $\Delta r/V_p \leq 1$ мс, величина $a/D \approx 3 \div 1$ мс в залежності від типу хвилеводу ($D \approx 2100 \div 6000$ м/с) і для сейсмічних хвиль вираз (3.2) можна записати приблизно $\Delta t = t_c$. При миттєвому підриванні розосереджених зарядів коливання ґрунту на великих відстанях можливо вважати єдиним імпульсом, а сумарне хвильове поле утворюється при умові [69]:

$$(N - 1)\Delta t \leq T/4 \quad (3.4)$$

Зовсім інша ситуація має місце при формуванні сумарного поля сейсмічних хвиль при вибухах у м'яких ґрунтах. Наприклад, у лесі швидкість поздовжніх хвиль $300 \div 500$ м/с. При цьому відношення $\Delta t/V_p$ досягає $10 \div 20$ мс, тобто значень, що близькі до інтервалу сповільнення.

Таким чином миттєвий вибух розосереджених зарядів подібний короткосповільненому по характеру формування сумарного хвильового поля,

інтенсивність якого визначається інтерференційним ефектом, і не може бути зведений до вибуху еквівалентного зосередженого заряду [68, 69].

У дальній зоні вибуху амплітуда, період і зсув фаз від кожного свердловинного заряду будуть приблизно однаковими і тому тут використовується принцип суперпозиції, у відповідності якому збурення від окремих джерел розповсюджуються незалежно і складаються лінійно у точці спостереження [69].

Для прогнозування величини швидкості коливань ґрунту при вибухах розосереджених зарядів були розроблені інженерні формули (3.9) і (3.10), які враховують властивості гірничого масиву, відстані і взаємодію між окремими зарядами [69].

Миттєве підривання лінійно-розосереджених зарядів показало значну направленість випромінювання СВХ з максимальним сейсмічним ефектом по профілю поперек лінії зарядів у порівнянні з сейсмічним ефектом по профілю вздовж лінії зарядів.

Експериментальні дослідження показали, що інтенсивність сейсмічних хвиль в напрямку вздовж лінії зарядів у ближній зоні вибуху у деяких випадках була не набагато більша, як при вибуху одного заряду. Направленість випромінювання простежувалась до відстані, що перевищувала в десятки разів лінійні розміри розосередженого заряду в залежності від його характеристики і властивостей гірничого масиву [68, 69].

В умовах проведення МВ у кар'єрах такі фактори, як неоднорідність порід підірваного блоку, відмінності умов підривання, взаємодія суміжних груп зарядів і розкид часу спрацювання сповільнювачів, мають випадкову природу і ведуть до часового зсуву між хвилями.

Дані фактори чинять визначений вплив на амплітудно- частотний склад сумарних коливань при КСП, котрі оцінюються з допомогою теорії випадкових процесів, що розподіляються по закону [69].

Аналіз результатів досліджень показує, що випадковий розкид часу спрацювання сповільнювачів послаблює високочастотні складові коливань, а на розкид амплітуд чинить менший вплив [69].

В більшості випадків при вибухах систем зарядів закономірності у змінах сейсмоколиваний визначаються регулярними факторами, а не випадковими. Однак врахування випадкових розкидів дозволяє уточнити оцінки параметрів сумарних коливань [69].

Допускаючи часові показники приходу хвиль нормально розподіленими, незалежними, випадковими величинами з дисперсією σ_t^2 , а спектр одиночних хвиль вузькополосними з частотою максимуму f_m , можна, використовуючи теорію випадкових процесів, одержати наступний вираз для амплітуди сумарних коливань [69]:

$$A_N = A_1 \sqrt{N \{1 + (N - 1) \exp[-(2\pi f_m \sigma_t^2)]\}}. \quad (3.5)$$

В промисловій сейсміці при оцінці КСП з усієї сейсмограми беруть один максимальний амплітудний пік її запису, ототожнюючи його з сейсмоефектом всього масового вибуху, наприклад, з максимальною швидкістю зміщення часток ґрунту. Але найчастіше буває, що цей високочастотний пік є не основним коливальним рухом ґрунту (або конструкції споруди), а накладенням «шумового» ефекту провідного середовища. В кінцевому підсумку при визначенні параметрів БВР це веде до помилок по визначенню допустимої маси заряду і потребує відповіді щодо достовірності оцінки і прогнозу сейсмічного ефекту всього КСП у кар'єрах.

Концепція формування сейсмічних сигналів масового вибуху від одиничних і групових свердловинних зарядів зкомутованих в одну систему ініціювання полягає в тому, що кількість свердловинних зарядів ВР, що приходить на певний інтервал уповільнення, складається з розрахованої

кількості окремих (одиночних) свердловинних зарядів. Так, виходом із ситуації є розуміння, що при КСП системи свердловинних зарядів ВР в блоці, кількість одиночних одночасно підірваних свердловинних зарядів ВР складають розраховану інтенсивність впливу сейсмічної хвилі на навколишній масив порід.

Загалом, можливо і не отримувати сейсмограму МВ, а отримати її тільки під час вибуху одиночного заряду і, зробивши певний розрахунок, отримати, наприклад, швидкість зміщення ґрунту при МВ. При цьому має виконуватися одна, але дуже важлива умова – необхідно знати фактичну кількість свердловинних зарядів, що підірвались одночасно та визначити сейсмічні дії різних хвиль на споруди.

Для доказової бази наведеної вище концепції та розробки методу оцінки сейсмічного ефекту короткосповільненого вибуху нижче проведемо аналітичні та експериментальні дослідження щодо визначення маси ВР, яку складають одночасно підриваємі одиночні свердловини і які складенням створюють максимальне сейсмічне поле в одній із типів подовженої, поперечної або поверхневої хвилях.

3.2 Дослідження по розробці способу визначення сейсмобезпечної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів і відстаней

.

Вибухові роботи в промисловості, в т. ч. у гірничій справі при видобутку корисних копалин, проводяться в основному з використанням розосереджених свердловинних зарядів, з'єднаних різними системами ініціювання, які розподіляються на підривному блоці по окремим групам. Останні вибухають за схемою короткосповільненого підривання КСП через визначені проміжки часу (інтервали сповільнення), які приймаються такими, щоб не допустити підбій сусідніх свердловинних зарядів ВР.

Сейсмічний ефект при масових вибухах, як відмічалось в розділі 1, розраховується в залежності не від загальної маси зарядів, а в залежності від маси окремої групи одиночних свердловинних зарядів, що є максимальною по масі вибухової речовини, і для цього використовується формула академіка М.О. Садовського [6] для зосередженого заряду (1.1).

Формування сейсмічних сигналів (сейсмічний ефект) в масивах гірських порід від МВ складається з окремих свердловинних зарядів, яка насправді є групою розосереджених зарядів, а фактично визначається за формулою зосередженого заряду (1.1). Це приводить до помилок, щодо визначення фактичної кількості зарядів, які формують такі сейсмічні сигнали, при яких виникають явища небезпечного накладання сейсмічних хвиль біля об'єктів, що охороняються. Однією з причин таких помилок є недостатня експериментальна база та обізнаність наукової громадськості і спеціалістів-підривників з особливостями дії на навколишнє середовище вибуху розосередженого заряду через невелику чисельність публікацій в цьому напрямку [55-59]. Тому дослідження були направлені на виправлення існуючого становища щодо одержання патенту на корисну модель способу **визначення сейсмобезпечної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів і відстаней** [60].

Винахід відноситься до відкритої розробки родовищ рудних і нерудних корисних копалин і може бути використаний для видобутку корисної копалини і розкривних порід з застосуванням короткосповільненого вибуху системи свердловинних зарядів вибухової речовини (ВР) для зниження сейсмічної дії на навколишні охоронні об'єкти.

1. Відомий спосіб визначення сейсмобезпечних параметрів вибухів і відстаней оснований на використанні наступних аналітичних залежностей: формула, в якій сейсмічний ефект (швидкість коливань ґрунту, см/с), від короткосповільненого підривання всього блоку, визначається максимальною масою вибухових речовин, розміщених в свердловинних зарядах, які вибухають миттєво в одному ряду (однієї ступені сповільнення); формула в

якій визначається сейсмобезпечна кількість свердловинних зарядів розосереджених в одному ряду (в одній ступені сповільнення) при масовому вибуху та формула в якій визначається сейсмобезпечна відстань (r_c , м), коли короткосповільненим способом підривається блок гірничих порід рядами розосереджених свердловинних зарядів [45].

Недоліком способу є те, що у формулах визначення сейсмобезпечних параметрів вибухів і відстаней, зокрема коефіцієнти пропорційності (K) і показник степені затухання ($n=1,5$) одержують без реєстрації параметрів сейсмовибухових хвиль в період проведення масових вибухів, тобто без прив'язки до конкретних умов, що приводить до помилок, які пов'язані з невідповідністю даних, щодо реальних параметрів швидкостей коливань ґрунту збуджених в масиві, від підриву всього блоку та відсутністю даних, щодо одиночного свердловинного заряду. Тому, використовуючи ці формули для розрахунку сейсмобезпечних відстаней щодо сейсмостійкості будівель і споруд, із-за помилок визначення сейсмічного ефекту (швидкість коливань ґрунту, см/с) від підриву всього блоку не забезпечується їх цілісність, що приводить до нанесення об'єктам різних ушкоджень, пов'язаних з непрогнозованою сейсмічною дією, тим самим збільшуючи витрати на ремонт і підтримку в процесі їх експлуатації.

Найбільш близьким технічним рішенням із існуючих до запропонованого винаходу є спосіб визначення сейсмонезпечних зон в тріщинуватих гірських масивах, що включає короткосповільнене підривання (КСП) блоку із серії окремих одиничних свердловинних зарядів. Встановлені в профілі блоку пункти реєстрації коливань з різним інтервалом відстаней між ними. Запис коливань в кожному пункті від вибуху проводять одночасно з одержанням осцилограм вибуху. По розшифровці осцилограм вибуху визначені швидкості коливань в кожній точці виміру для одержання системи рівнянь. Маючи значення маси зарядів, відстані від вибуху до кожного пункту - визначені коефіцієнти пропорційності (сейсмічності K_c) і показники степені затухання (n) з рішення системи рівнянь. По формулі для охоронного

об'єкту з заданою допустимою швидкістю коливань визначені сейсмобезпечні відстані (r_c , м) до будівель і споруд [61],

Недоліком цього способу є низька точність визначення сейсмобезпечної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів і відстаней. Це пов'язано з тим, що в способі що розглядається визначення сейсмобезпечних параметрів короткосповільненого вибуху проводиться без урахування несанкціонованого підривання в результаті часового розкиду спрацювання уповільнювачів в мережі короткосповільненого підривання та те, що максимальна маса заряду (Q) на одне сповільнення, проводиться по схемам комутації масового вибуху, які не відображають реальну кількість одиничних зарядів, які підриваються миттєво і створюють сейсмічну небезпеку на будівлі і споруди наближені до кар'єру.

Мета винаходу полягає в підвищенні точності визначення сейсмобезпечної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів і відстаней.

Це досягається тим, що у пропонованому способі визначення сейсмобезпечної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів і відстаней проводиться з використанням, поряд з короткосповільненим підриванням блоку із серії окремих свердловинних зарядів, які по конструкції і масі зарядів різняться до 10%, підриванням, ще окремого одиничного свердловинного заряду, який ініціюють після підриву останнього заряду в серії всього блоку зі збільшеним в 2-4 рази інтервалом сповільнення і на основі порівняльного аналізу результатів підривання визначається фактична кількість підірваних зарядів.

Запропонований спосіб визначення сейсмобезпечної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів і відстаней відрізняється від відомого тим, що з метою збільшення точності визначення кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів і відстаней в серії, ідентичних по конструкції і масі зарядів підривають ще одиничний свердловинний заряд, окремо, із збільшеним інтервалом сповільнення, після підриву останнього заряду в серії

всього блоку, в профілі блоку встановлюють точки реєстрації коливань з різним інтервалом відстаней між ними. Запис коливань в кожній точці від підриву одиничного і серії зарядів всього блоку проводять одночасно з одержанням осцилограм вибуху. По розшифровці осцилограм вибуху на різних відстанях (r_1, r_2, m), визначають швидкості коливань ґрунту, як від підриву одиничного заряду, U_1, U_2 (см/с) так і від серії зарядів всього блоку U_{MB1}, U_{MB2} (см/с). Маючи значення маси одиничного свердловинного заряду (Q_1 , кг), відстані (r_1, r_2 , м) від вибуху до кожної точки складають систему рівнянь:

$$\begin{cases} U_1 = K_c \left(\frac{r_1}{Q_1^{1/3}} \right)^{-n} \\ U_2 = K_c \left(\frac{r_2}{Q_1^{1/3}} \right)^{-n} \end{cases} \quad (3.6)$$

Із (3.6) визначають показник степені затухання:

$$n = \left[\ln \left(\frac{U_2}{U_1} \right) \right] / \left[\ln \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \right] \quad (3.7)$$

та розраховують коефіцієнт сейсмічності:

$$K_c = \frac{U_1}{\left(\frac{r_1}{Q_1^{1/3}} \right)^{-n}}, \quad (3.8)$$

які будуть рівними як для умов підривання одиничного заряду так і від серії зарядів усього блоку (3.6).

Залежності швидкості коливань ґрунту від вибуху серії зарядів всього блоку в двох пунктах мають вигляд:

$$U_{\text{MB1}} = K_c \cdot N \left(\frac{r_1}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-n}; \quad U_{\text{MB2}} = K_c \cdot N \left(\frac{r_2}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-n}. \quad (3.9)$$

У формулах (3.9) фактичну масу одиничного заряду(Q_1 , кг) приводять до ефективної маси ($Q_{\text{еф}}$, кг) решти свердловинних зарядів, яка виникає в результаті взаємодії між ними, після чого із однієї із формул (3.9) одержують максимальну кількість одночасно підірваних свердловинних зарядів (N):

$$N = \frac{U_{\text{MB1}}}{K_c} \cdot \left(\frac{r_1}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^n. \quad (3.10)$$

Ефективна маса свердловинного заряду виникає в результаті взаємодії між свердловинними зарядами і розраховується за формулою розосередженого заряду:

$$Q_{\text{еф}} = Q_1 \left[\left(1 - \frac{1}{N_{\text{еф}}^b} \right) \cdot C + \frac{1}{N_{\text{еф}}^b} \right], \quad (3.11)$$

де $N_{\text{еф}}$ - кількість окремих зарядів, хвилі яких приймають участь у взаємодії зарядів; b – показник, що залежить від властивостей ґрунту через коефіцієнт затухання сейсмічної хвилі ($b = \frac{3}{n} - 1$); C – відносна відстань між окремими зарядами ($C = \frac{a}{2r_n}$), a -відстань між окремими зарядами, r_n - радіус зони руйнування.

Визначені вище значення коефіцієнтів K_c , та n дозволили одержати емпіричну залежність щодо визначення сейсмічного ефекту (швидкість коливань ґрунту, см/с), від короткосповільненого підривання всього блоку із серії окремих свердловинних зарядів (конкретного діаметром свердловини) для конкретних умов проведення досліджень яка має вигляд:

$$U = K_c N \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-n} . \quad (3.12)$$

Розрахунки сейсмобезпечних відстаней (r_c , м) до будівель і споруд з допустимою, для цих об'єктів, швидкістю коливань її ґрунтової основи ($U_{\text{доп}}$, см/с) визначають по формулі:

$$r_c = \left(\frac{K_c N}{U_{\text{доп}}} \right)^{1/n} Q_{\text{еф}}^{1/3} . \quad (3.13)$$

Перевірка і впровадження розробленого методу оцінки сейсмоефекту проводились по результатам аналізу моніторингу КСП у різних умовах кар'єрів і приведені в наступних розділах.

Висновки до розділу 3

1. Висунуто концепцію, яка полягає в тому, що при короткосповільненому вибуху системи свердловинних зарядів ВР сейсмічний ефект масового вибуху визначає максимальна маса ВР на ступінь уповільнення яку складають свердловинні заряди і які по одиночним підриванням, шляхом інтерференції хвиль, утворюють сумарне хвильове поле в зоні розташування будівель і споруд.

2. Вивчені і узагальнені умови складання хвильових коливань на основі зсуву фаз хвиль, що прибувають у точку спостереження. Максимальна сумарна амплітуда швидкості зміщення ґрунту під об'єктами, що охороняються при умові накладання сейсмічних коливань, створюється в межах першого напів періоду хвилі від ближнього свердловинного заряду, тобто в межах відрізу часу $1/2 T$ (T – період коливання хвилі, що розглядається).

3. Визначений критерій по параметру сейсмічних хвиль від вибуху одиничного заряду для виявлення максимального сейсмічного поля при КСП.

4. Вирішено питання (розроблений метод, який захищений патентом України № 131003) про можливість визначення максимальної маси ВР на ступінь уповільнення прийнявши її як сейсмічний ефект всього КСП в кар'єрах по кількості тих одночасно підірваних свердловинних зарядів, що створюють максимальне хвильове поле.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ОЦІНКИ СЕЙСМОЕФЕКТУ КСП ПО АНАЛІЗУ ДІЇ ОДИНОЧНОГО СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ МОНІТОРИНГУ МАСОВИХ ВИБУХІВ У КАР'ЄРІ

4.1 Методики проведення моніторингу масових вибухів та визначення несанкціонованого підриву свердловинних зарядів при КСП

Дослідження оцінки сейсмоефекту з використанням розробленого в розділі 3 методу оцінки сейсмоефекту при КСП по дії одиночного свердловинного заряду, зкомутованого в загальну схему масового вибуху проводились на основі аналізу результатів моніторингу масових вибухів, які виконувались у кар'єрах і по яким, з застосуванням апаратури і методики, приведеної в розділі 2, були одержані сейсмо- і спектрограми вибухів для конкретних гірничо-геологічних умов. Крім того осцилограми, одержані аналогово-цифровою апаратурою, фільтрувались по приведеному в розділі 2 способу.

Проведемо дослідження по розробці методики по визначенню несанкціонованого підриву свердловинних зарядів при КСП, пов'язаних з розкидом часу спрацьовування як поверхневих так і внутрішньо-свердловинних детонаторів заводського виготовлення.

Широке застосування в останні роки неелектричного способу ініціювання зарядів при короткосповільнених масових вибухах на основі хвилеводів типу Nonel різко змінило технологію ведення вибухових робіт в кращу сторону як щодо подрібнення, так і зниження сейсмічної дії вибуху.

По-перше, значно підвищилася точність ініціювання зарядів, а це призвело до можливості не тільки посвердловинного, але і всередині свердловинного ініціювання зарядів, що в свою чергу сприяє зменшенню сейсмічного ефекту вибуху.

По-друге, за рахунок технічної можливості широкого діапазону зміни інтервалів уповільнення і підвищення точності їх всередині свердловинного ініціювання, покращилася якість дроблення гірської маси породи.

По-третє, підвищилася безпека вибухових робіт: сейсмічна, від розльоту шматків породи і дії ударно-повітряної хвилі.

Разом з тим, новий метод ініціювання зарядів потягнув за собою помилки у визначенні маси зарядів на інтервал сповільнення для групи зарядів. Ці помилки пов'язані з тим, що в паспортах масових вибухів часто за розрахункову масу зарядів однієї групи вибиралася маса зарядів на всьому діагональному відгалуженні від основного хвилеводу, хоча на цій діагоналі час ініціювання зарядів часто більший інтервалів уповільнення основного хвилеводу. В результаті подібних розрахунків помилково визначаються сейсмобезпечні параметри вибухових робіт, що в свою чергу не забезпечує стійкість охоронних об'єктів.

Відмінною особливістю нашої методики від існуючої в промисловій сейсміці є те, що для розрахунку допустимих мас зарядів, або сейсмобезпечних відстаней беруться до уваги тільки ті свердловинні заряди (складаються їх маси), які зініціюються одночасно, або хвилі яких досягають місць вже вибухнувшого заряду в часі, що не перевищує половини періоду його хвилі ($1/2 T_p$, с).

Слід зазначити, що при значній відстані між свердловинними зарядами в блоці, амплітуди яких можуть скластися, виходячи з часу їх ініціювання, необхідно враховувати час поширення поздовжньої хвилі по блоку між зарядами за нижче наведеною формулою:

$$t_{\text{Б}} = S/V_p, \text{ с}, \quad (4.1)$$

де S - відстань між розглянутими зарядами, м;

V_p - швидкість поширення поздовжньої хвилі по підриваємому блоку, м/с. Для вапняку, гіпсу $V_p = 2500 \div 3000$ м/с; для більш міцних порід (граніт, базальт, руди чорних металів) $V_p = 3000 \div 4000$ м/с.

Таким чином, перевіркою на можливість складання амплітуд коливань від одночасно підірваних зарядів в групі є умова приходу хвилі щодо першого підіраного заряду, яка виражається наведеною нижче нерівністю:

$$t_B \leq 1/2 T_p, \quad (4.2)$$

де t_B - час розповсюдження хвилі по блоку, с;

T_p - період коливань в поздовжній хвилі, с.

При наявності сповільнень t_c підірвання зарядів групи відповідно першого підіраного заряду t_{c_1} умова (4.2) буде мати вигляд:

$$t_c + t_B \leq 1/2 T_p. \quad (4.3)$$

Для отримання мінімальної дії СВХ і якісного подрібнення гірської породи детонатори - сповільнювачі СІН повинні забезпечити мінімальне відхилення інтервалів часу ініціювання зарядів від оптимальних, які визначені паспортом МВ. Але і при використанні систем неелектричного ініціювання зарядів фактичні значення часу спрацювання детонаторів - сповільнювачів відрізняються від їх номінальних значень в поверхневій мережі від 10% до 20%, а у внутрішньо свердловинних детонаторах від 5% до 10%. Інтервали сповільнень при монтажі вибухової мережі вибираються без урахування розкиду часу спрацювання детонаторів, що часто призводить до незапланованого вибуху більшої кількості свердловинних зарядів в ступенях уповільнення, ніж було передбачено паспортом БВР, що, в свою

чергу, призводить до помилок при визначенні допустимих мас зарядів, отже, і до помилок при визначенні сейсмобезпечних відстаней.

На практиці кожен номінальний час уповільнення має своє відхилення, яке розраховується за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} , \quad (4.4)$$

де x_i – i -й елемент вибірки;

\bar{x} – середнє арифметичне вибірки.

З урахуванням (4.4) граничне значення часу сповільнення (мс) визначається за формулою:

$$t_{\pi} = t_{\text{н}} \pm 2\sigma , \quad (4.5)$$

де $t_{\text{н}}$ – номінальний час спрацювання детонатора – сповільнювача, мс;

σ – середньоквадратичне відхилення, мс.

Час уповільнення пристроїв системи («Імпульс») наведено в таблиці 4.1.

З урахуванням розкиду часу спрацювання хвилеводних пристроїв з ініціювання свердловинних зарядів перевіркою на можливість складання амплітуд коливань від одночасно підірваних зарядів в групі є наступна умова приходу хвилі щодо першого підіраного заряду:

$$t_{\pi} + t_{\text{Б}} \leq 1/2 T_p , \quad (4.6)$$

де t_{π} – граничний час спрацювання детонатора – сповільнювача.

Таблиця 4.1 – Час сповільнення пристроїв СІН («Імпульс»)

Тип пристрою	Номинальний час сповільнення,мс.	Середньоквадратичне відхилення від номінального значення,мс.	Граничне значення часу сповільнення, мс.
УНС-П-0	0	-	0,1-3,0
УНС-П-15	15	2,0	11-19
УНС-П-25	25	2,5	20-30
УНС-П-40	40	3,5	33-47
УНС-П-65	65	4,5	56-74
УНС-П-105	105	5,0	95-115
УНС-П-150	150	6,5	137-163
УНС-П-200	200	8,0	184-216
УНС-С-100	100	5,0	90-110
УНС-С-150	150	6,5	137-163
УНС-С-200	200	8,0	184-216
УНС-С-250	250	10,0	230-270
УНС-С-300	300	11,0	278-322
УНС-С-350	350	12,0	326-374
УНС-С-400	400	12,0	376-424
УНС-С-450	450	12,0	426-474
УНС-С-500	500	12,0	476-524

Відомо, що пристрої СІН дають можливість посвердловинного ініціювання зарядів. Таке підривання значно зменшує сейсмічний ефект МВ, але фахівці - підричники не прагнуть до цього, а часто монтують схеми підривання, які підсилюють сейсмічний ефект. Прикладом може бути МВ 30.07.2014 р. у Рокитнянському гранітному кар'єрі на блоці № 20, схема вибухової мережі якого представлена на рис. 4.1.

Загальна маса заряду 4750 кг Анемікс-70 була розміщена в 43 свердловинах діаметром 125 мм. Маса одного свердловинного заряду 110,5 кг, сітка свердловин $4,8 \times 4,15$ м. Система ініціювання зарядів - Несі. Інтервали сповільнення по основному хвилеводу - 42 мс, по діагональних рядах - 67 мс.

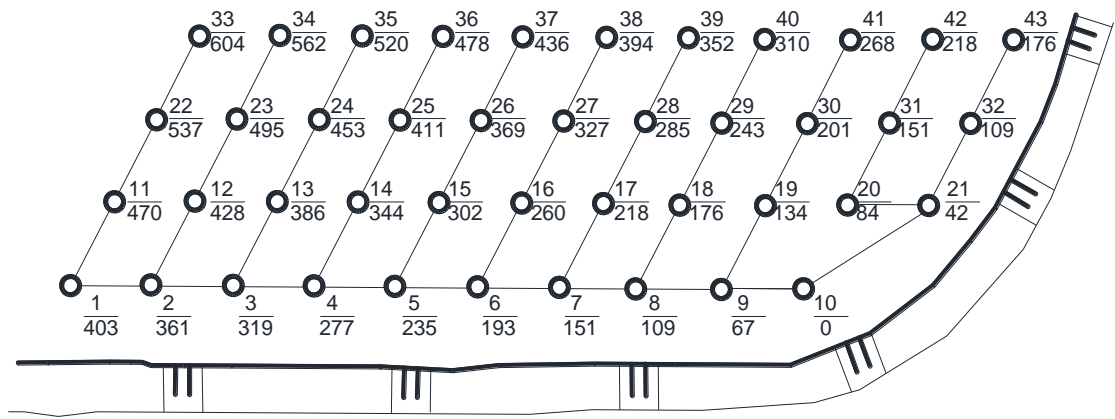


Рисунок 4.1 – Характерна схема вибухової мережі блоку №20:

чисельник - номер свердловини, знаменник - час ініціювання свердловинного заряду (за паспортом МВ), мс

Аналізуючи представлену схему стверджуємо, що підрив свердловинних зарядів при МВ йде не по діагоналях, призначених підривниками з інтервалами уповільнення між свердловинними зарядами через 67 мс, а по істинним (природним) діагоналям через 17 мс між свердловинами (наприклад, $\frac{30}{201}, \frac{42}{218}, \frac{17}{218}, \frac{5}{235}$). І таких діагоналей - 5. Ще 4 діагоналі, де вибухають свердловини через 17 мс по 3 штуки в ряду і т.д. Можна стверджувати, що замість посвердловинного ініціювання відбувається підрив групи з 4-х свердловинних зарядів і таким чином зростає сейсмічна дія МВ.

Як можна аналізувати послідовність ініціювання зарядів в групі і визначити їх кількість покажемо на прикладі нижче наведеної схеми, де розглядається діагональ з трьома свердловинними зарядами ($\frac{19}{134}, \frac{7}{151}, \frac{31}{151}$), одночасне підривання яких цілком можливо. У цій схемі використовуються граничні значення часу сповільнення, викликані розкидом часу спрацьовування детонаторів.

$$\begin{aligned} \circ \frac{31}{151} \quad & \text{УНС-П-67} \rightarrow 151-9=142\text{мс} \\ & (\text{УНС-П-67})+(\text{УНС-С-500})=642\pm 24\text{мс} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \frac{19}{134} \quad & \text{УНС-П-67} \rightarrow 134+9=143\text{мс} \\ & (\text{УНС-П-67})+(\text{УНС-С-500})=643\pm 24\text{мс} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \frac{19}{151} \quad & \text{УНС-П-42} \rightarrow 151-7=144\text{мс} \\ & (\text{УНС-П-42})+(\text{УНС-С-500})=644\pm 24\text{мс} \end{aligned}$$

Аналізуючи схеми підривання, доводиться констатувати про неможливість повністю позбутися взаємного перекриття інтервалу сповільнення між суміжними зарядами з двох головних причин: розкид часу спрацювання детонаторів - сповільнювачів і забезпечення оптимального паритету між сейсмічним ефектом і ефективним подрібненням гірської породи.

Реальним шляхом вирішення зазначеної проблеми є застосування для ініціювання свердловинних зарядів ВР електронних детонаторів.

4.2 Методичні розробки по прогнозу і оцінки сейсмічної безпеки вибухових робіт для підвищення сейсмостійкості будівель і споруд

В дисертаційній роботі оцінку сейсмічного ефекту КСП здійснюють, керуючись величиною максимальної швидкості коливань хвиль, яка у випадку сейсмобезпеки має бути меншою за допустиму величину для даного типу об'єкту, що охороняється і визначеного у відповідності з існуючими нормами, зокрема «**Правилами безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення**» (НПАОП О.ОО-1.66-13 п.6.9) [44] та ДСТУ 4704:2008 [45]. При цьому проводилась побудова таких схем КСП, за яких, при однаковій масі заряду, виникатимуть допустимі показники сейсмічних хвиль, безпечних для навколишніх будівель і споруд, але при

відсутності методики визначення тих типів хвиль, виділивши їх із всього коливального процесу, що створюють умови небезпечного накладання сейсмічних хвиль з власними частотами об'єктів, що охороняються в районах їх розташування.

Для досягнення даних цілей проводився порівняльний аналіз результатів різних схем підривання, та аналіз сейсмограм в тому числі спектральний по типам хвиль, виділивши їх повздовжню, поперечну та поверхневу фази, умови небезпечного їх накладання з власними частотами інженерних та гідротехнічних споруд та визначалися найнебезпечніші параметри коливань. Ці параметри були прийняті за критерій сейсмічної оцінки.

Одержані сейсмограми від одиночних і групових зарядів по коливальним процесам ділились на відрізки, що відповідають різним типам хвиль [30, 35]. Поверхневу фазу відображає відрізок з найбільшим періодом коливань (V_r). Поперечна фаза має так звані «зарубинки» (V_s), а повздовжній відповідає відрізок з великою частотою (V_p). Найбезпечнішою фазою коливань, яка в подальшому була досліджена, буде та, максимальне значення амплітуди якої буде результат накладення сейсмічних хвиль з власними частотами будівель та споруд в районах розташування цих об'єктів і припадатиме на відрізки процесу з максимальною частотою. І навпаки, у випадку отримання максимальних значень амплітуд коливань на відрізок з максимальним періодом, внаслідок накладення коливальних процесів сейсмічної хвилі з власними коливаннями будівель, процес викликатиме найбільшу небезпеку.

Також в дисертаційній роботі на основі вищенаведеного, при однаковій масі заряду, для зниження сейсмоефекту розроблено таку технологію підривання, при якій максимальне значення амплітуд сейсмічного процесу формувалось в поперечній, чи повздовжній хвилях. Цього було досягнуто, регулюванням інтервалів сповільнення, масою свердловинних зарядів ВР та

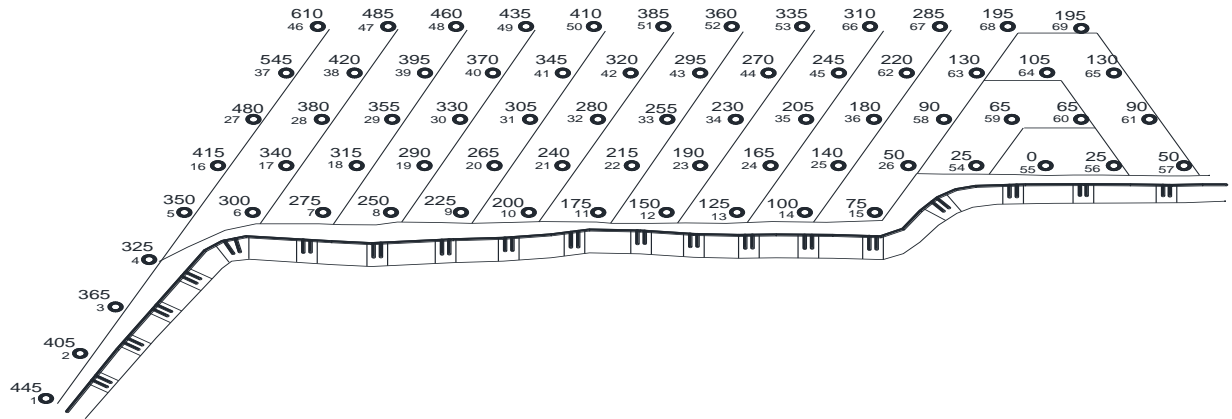
їх кількістю в групах, на основі розробки схем короткосповільненого підривання свердловинних зарядів ВР.

Інструментальні записи сейсмовибухових хвиль, при їх поширенні по виділених профілях, залежно від виду розв'язуваних задач, проводилися від масових вибухів у кар'єрах з використанням апаратури й методики виміру, які спеціально були обрані й розроблені для даної наукової роботи і приведені в розділі 2. Також розроблений в розділі 2 спосіб низькочастотної фільтрації сейсмограм був використаний при обробці сейсмограм, одержаних аналого-цифровим комплексом при проведенні експериментальних досліджень в промислових умовах для підвищення точності оцінки сейсмобезпеки.

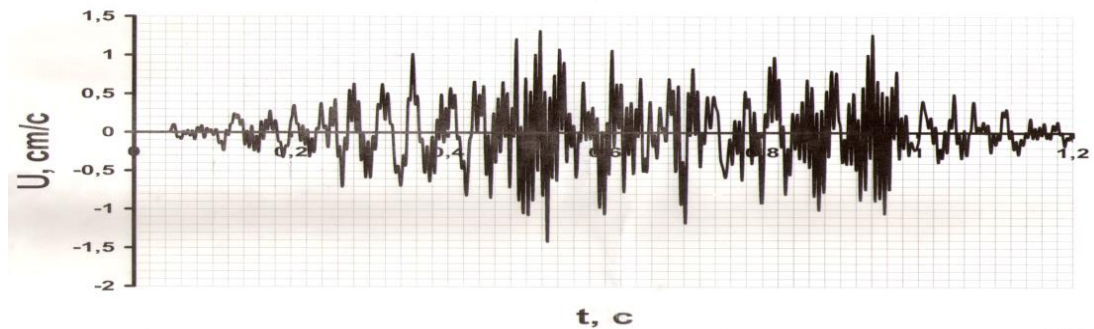
Розробка методик прогнозу і оцінки сейсмічної безпеки вибухових робіт потребує виділення із всього коливального процесу (сейсмограм) того типу хвиль, який за амплітудно-частотним спектром найбільш наближений до власних коливань охоронного об'єкту і який є найнебезпечніший. Такий підхід зі своїми аналітичними, інженерно-розрахунковими, технологічними методами був застосований при рішенні наукових завдань дисертаційної роботи. Ці дослідження стосуються сейсмобезпеки об'єктів, для яких відсутні дані допустимих значень за сейсмонавантаженням. На практиці це часто обмежує масштаби застосування вибухових робіт при видобутку корисних копалин, а в деяких випадках приводить до закриття окремих ділянок кар'єрного поля за сейсмонебезпекою. сейсмограма масового вибуху являє собою дуже складний коливальний процес. Характерна сейсмограма швидкості зміщення часток ґрунту приведена на рис 4.2.

Для визначення сейсмічної дії різних хвиль на споруди визначення тільки швидкості коливання ґрунту недостатньо. Необхідно знати частотні характеристики вибухової хвилі і охоронного об'єкту, так як інтенсивність розхитування споруди залежить, в значній мірі, від відношення T/T_0 (T -

період коливання ґрунту під спорудою; T_0 - період власних коливань споруди).



а)



б)

Рисунок 4.2 – Масовий вибух № 4: а) Схема КСП; б) сейсмограма швидкості зміщення часток ґрунту МВ № 4 (канал 2 без фільтра) по Z - складовій на відстані 370 м

Якщо період власних коливань споруди можна визначити по загасаючим коливанням після її розхитування, або за спеціальними таблицями і формулами, то задачу визначення періоду коливання вибухової

хвилі з сейсмограми, приклад якої представлено на рисунку 4.3, майже неможливо.

В дисертаційній роботі розроблено нову методику прогнозу і оцінки сейсмічної безпеки вибухових робіт по визначенню типу хвилі і величини періоду коливань вибухової хвилі, використовуючи сейсмограму вибуху одиничного свердловинного заряду на тому ж горизонті, де проводиться МВ, або підривом одиничного свердловинного заряду окремо, із збільшеним інтервалом сповільнення, після підриву останнього заряду в серії всього блоку.

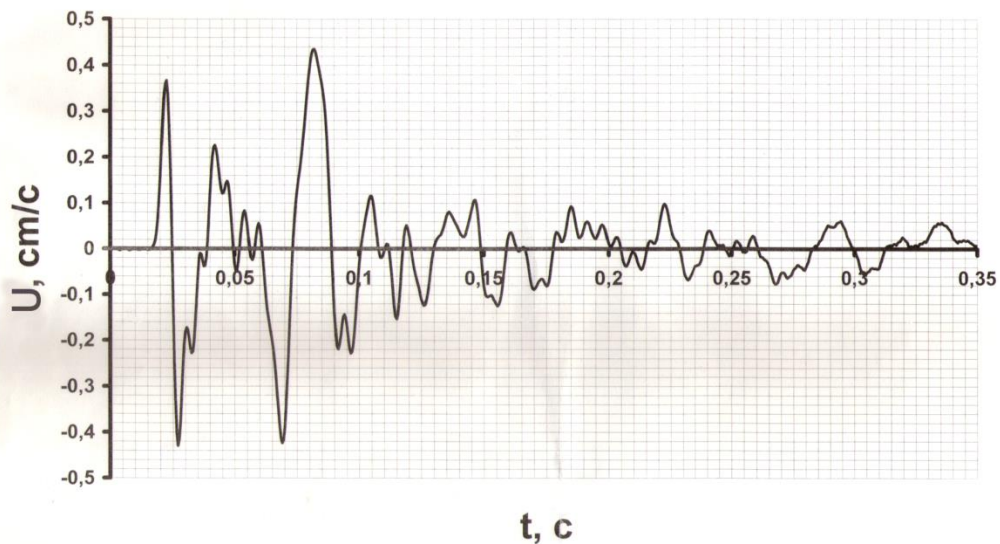


Рисунок 4.3 – Сейсмограма швидкості зміщення часток ґрунту вибуху одиничного свердловинного заряду № 5 (канал 1 без фільтра) по Z – складовій на відстані 350 м

Розглянута сейсмограма (рис. 4.3) за своїм виглядом є простою, в порівнянні з сейсмограмою МВ (рис. 4.2), але навіть в цьому випадку – дуже складною, а тому фактично неможливо, без застосування спеціальних методів, визначити типи хвиль і їх параметри.

Розглянемо існуючі спеціальні методи для вирішення подібних задач.

Першим спеціальним методом є низькочастотна фільтрація сейсмограм. Про це більш детально буде сказано далі в роботі. А наразі представляємо профільтровану сейсмограму (рис. 4.4) вибуху одиничного свердловинного заряду №5, яку розглядали на рисунку 4.3. З сейсмограмою (рис.4.4) вже можна працювати, але для більш ефективного вирішення завдання по визначенню типів хвилі при вибуху №5 необхідно застосувати другий спеціальний метод дослідження - визначення траєкторій руху частинок ґрунту в присутніх вибухових хвилях.

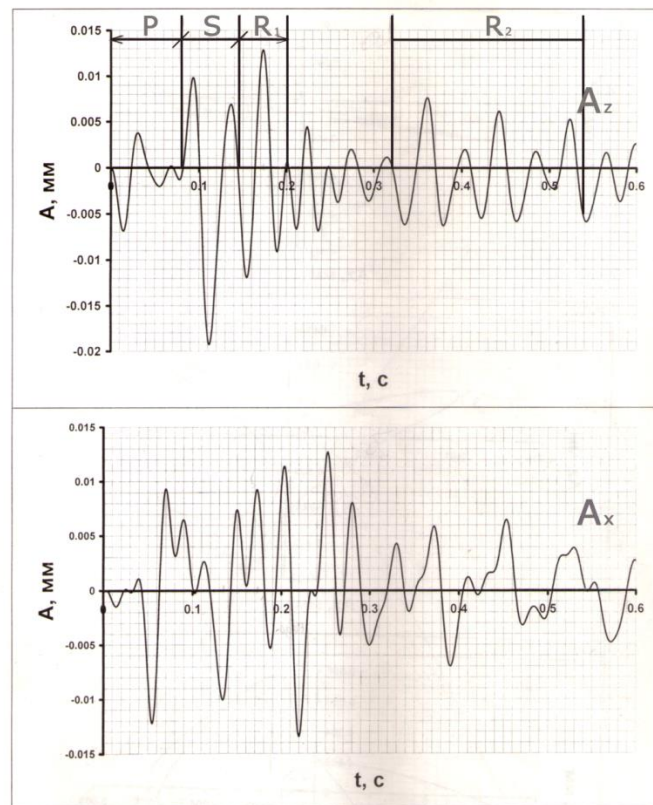


Рисунок 4.4 – Сейсмограми швидкості зміщення часток ґрунту при вибуху № 5 на відстані 550 м (фільтр 50 Гц) по вертикальній A_z і горизонтальній A_x складовим

Використовуючи значення зміщення ґрунту по вертикальній і горизонтальній складовим і час руху хвилі в ґрунтовому масиві,

представляється можливим побудувати в плоскому зображенні траєкторію руху частинок ґрунту під дією тієї чи іншої хвилі.

Справа в тому, що частинки ґрунту під дією різних типів хвиль рухаються в різних напрямках. Наприклад, під дією поперечної хвилі частинки ґрунту рухаються проти руху годинникової стрілки, а поверхневої – за годинниковою стрілкою.

На рисунку 4.4 в єдиному часовому полі представлені сейсмограми зміщення ґрунту на відстані 550 м від вибуху одиничного заряду №5 (фільтрація 50 Гц) по вертикальній (A_z) і горизонтальній (A_x) складовим.

Для зменшення завантаженості зображення траєкторії сейсмограма розділена на три тимчасові проміжки (а, б, в). Використовуючи тимчасові значення сейсмограм (табл. 4.2), побудовані траєкторії руху частинок ґрунту під час вибухового процесу (рис. 4.5).

Таблиця 4.2 –Часові значення характеристик точок траєкторій руху ґрунту

№ характерної точки	Значення часу(t_1 , с) в проміжках		
	а	б	в
1	0	0.082	0.320
2	0.014	0.111	0.344
3	0.030	0.134	0.373
4	0.055	0.150	0.390
5	0.077	0.173	0.442
6	0.082	0.190	0.450

Аналізуючи траєкторії руху частинок ґрунту, визначені місця формування і дії типів хвиль, які наведені на рисунку 4.4 і мають такі позначення: Р - поздовжня хвиля; S - поперечна хвиля, яка сформувалася в результаті явищ відколення під впливом поздовжньої хвилі на вільну поверхню; R_1 - поверхнева хвиля, що виникла в результаті куполоподібного підняття ґрунту в осередку вибуху; R_2 - поверхнева хвиля, що виникла в результаті впливу об'ємних хвиль на поверхневий шар м'якого ґрунту.

Зіставляючи часи коливань на сейсмограмах (рис. 4.2 і рис. 4.4), представляється можливим визначити місце наявності тієї чи іншої хвилі на сейсмограмі, а знаючи швидкість поширення хвилі в подібному масиві, можна визначити її на профілі поширення.

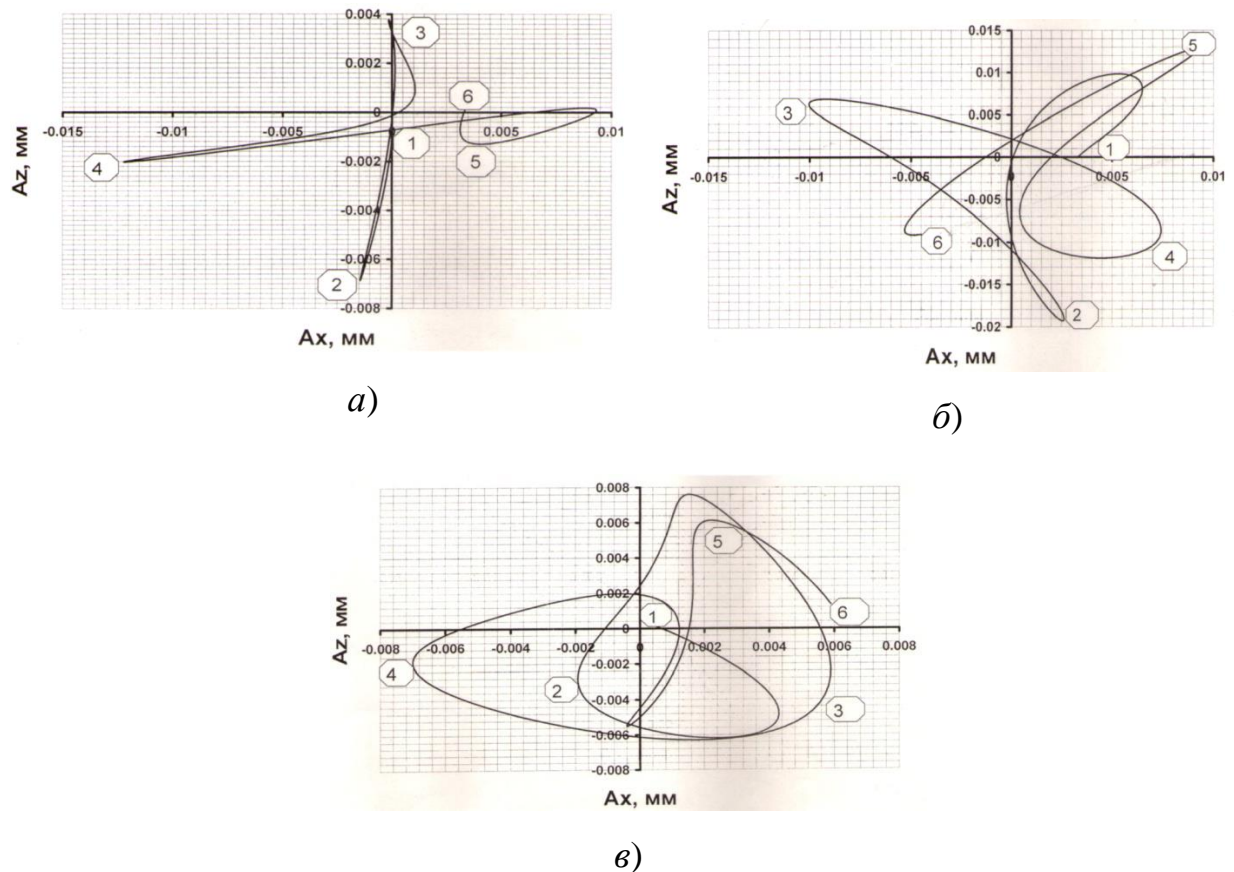


Рисунок 4.5 – Траєкторії руху ґрунту в проміжках часу (а, б, в) при вибусі одиничного свердловинного заряду № 5 на відстані 550 м.

1 – 6 – значення часу (табл. 4.2)

Швидкість поширення поздовжньої хвилі з сейсмограми можна визначити за часом перших її вступів і знаючи відстані між датчиками каналів. Швидкість поширення поздовжніх (V_p) і поперечних (V_s) хвиль з класичної літератури визначаються наступним чином:

$$V_p = \sqrt{\frac{E_d}{\rho} \times \frac{(1-\gamma)}{(1+2\gamma)(1-2\gamma)}}; \quad V_s = \sqrt{\frac{E_d}{\rho} \times \frac{1}{2(1+\gamma)}},$$

де E_d - динамічний модуль пружності;

ρ - щільність гірської породи;

γ - коефіцієнт Пуассона.

Величина відношення швидкостей поздовжніх і поперечних хвиль має такий вигляд:

$$V_p/V_s = \sqrt{\frac{2(1-\gamma)}{1-2\gamma}},$$

а швидкість поверхневої хвилі:

$$V_R = \frac{0,87+1,12\gamma}{1-\gamma} \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

де G - модуль зсуву.

При цьому $V_p > V_s > V_R$.

Періоди коливань сейсмовибухових хвиль і власні періоди коливань охоронних споруд визначаються з сейсмограм, або розрахунковим шляхом з урахуванням властивостей підривних порід, конструкцій заряду і приведеної відстані до маси заряду.

Одержані, від дії масових вибухів з різними схемами КСП, сейсмограми були піддані фільтрації по частотному складу.

Фільтрація записів хвильових коливань є одним із способів виділення з сейсмограми, що складається з численних накладених один на одного коливань з різними амплітудно-частотними характеристиками, основних (корисних) сейсмовибухових хвиль. Останні, в основному, являються хвилями більш низькочастотними, ніж хвилі, що виникають на шляху їх поширення [68]. Тому польові магнітно-електричні сейсμοприймачі масового застосування типу СМ-3 впевнено записують хвильові коливання нижче 50 Гц.

Фільтри можуть бути заздалегідь вмонтовані в сейсмограф, наприклад канадський сейсмограф Mini Mate Plus, і фільтрація в цьому випадку відбувається одночасно з реєстрацією параметрів СВХ, або фільтрація проводиться під час обробки сейсмограм математичними методами [68].

Фільтри діляться на фільтри нижніх і верхніх частот. Перші ефективно пропускають частотний спектр сигналу нижче певної частоти (частоти зрізу) і пригнічують частоти сигналу вище цієї частоти. Другі - пропускають частоти сигналу вище частоти зрізу і пригнічують частоти сигналу нижче цієї частоти [68].

На рис. 4.2 і 4.3 представлені сейсмограми відповідно МВ №4 і вибуху одиничного заряду №5 без фільтрації. Як видно з представлених сейсмограм, вони забиті щільно високочастотними хвильовими коливаннями, що виникли в результаті інтерференційних явищ. Виділити справжні видимі амплітуди швидкості зсуву ґрунту і періоди їх коливань неможливо і дуже важко із застосуванням спектрального аналізу для визначення максимуму амплітудного спектра і його періоду [68].

При наявності подібних сейсмограм використовується низькочастотна фільтрація. На рисунках 4.6 і 4.7 представлені ті ж сейсмограми, що розглядалися вище, але профільтровані на частоті 50 Гц. Як можна переконатися, навіть видимі значення АЧХ параметрів СВХ будуть практично відповідати справжнім показникам коливань під час вибуху [73, 74].

Проведення низькочастотної фільтрації СВХ має важливе значення при визначенні основних критеріїв сейсмобезпеки при вибухових роботах - швидкості зсуву ґрунту і частоти коливань [73].

Дослідження цього питання проведемо з урахуванням даних сейсмометричних вимірювань параметрів СВХ при МВ в умовах Рокитнянського гранітного кар'єру.

За результатами проведених вимірювань швидкість зміщення ґрунту при МВ №4 на горизонті + 126 м визначається із залежності:

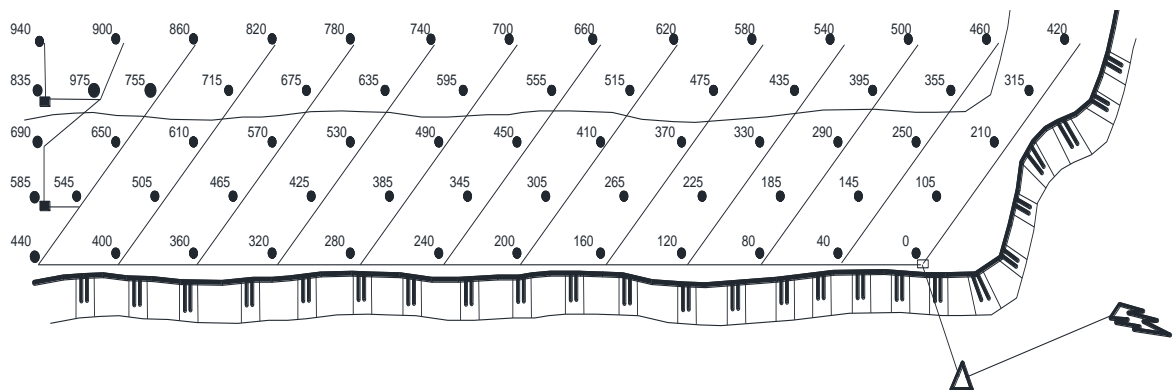
$$U = N \cdot K_c \cdot 10^{-2} \left(r / Q_{\text{еф}}^{1/3} \right)^{-1,22}, \text{ М/с}, \quad (4.7)$$

де N - кількість свердловинних зарядів ВР в групі, що одночасно вибухнули;

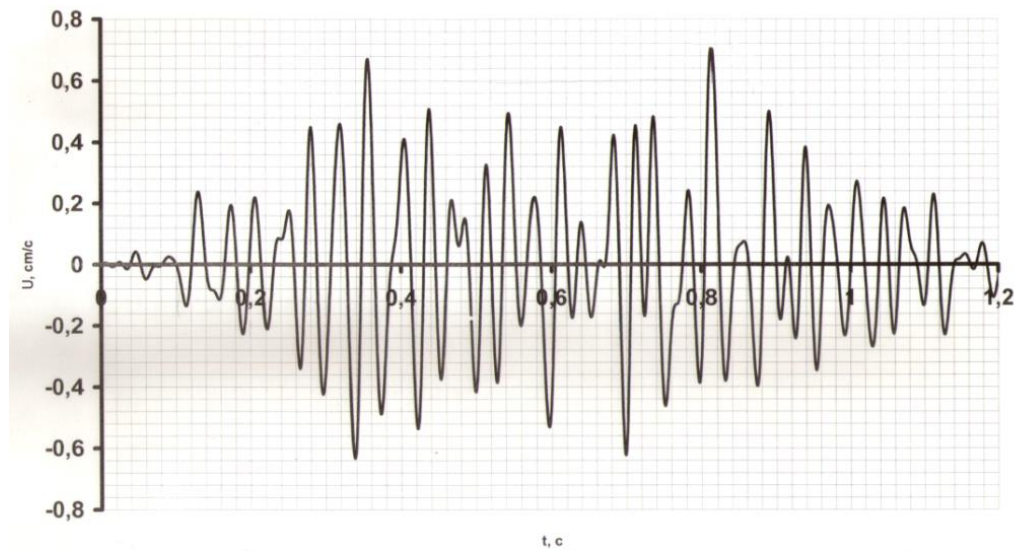
K_c - коефіцієнт сейсмічності, кг/м;

r - відстань від заряду (блоку) до охоронного об'єкту, м;

$Q_{\text{еф}}$ - ефективна маса одиничного заряду в групі розосереджених зарядів, що підриваються одночасно, кг.



а)



б)

Рисунок 4.6 – Масовий вибух № 4: а) Схема КСП; б) сейсмограма швидкості зміщення часток ґрунту МВ № 4 (канал 2 фільтр 50 Гц) по Z - складовій на відстані 370 м

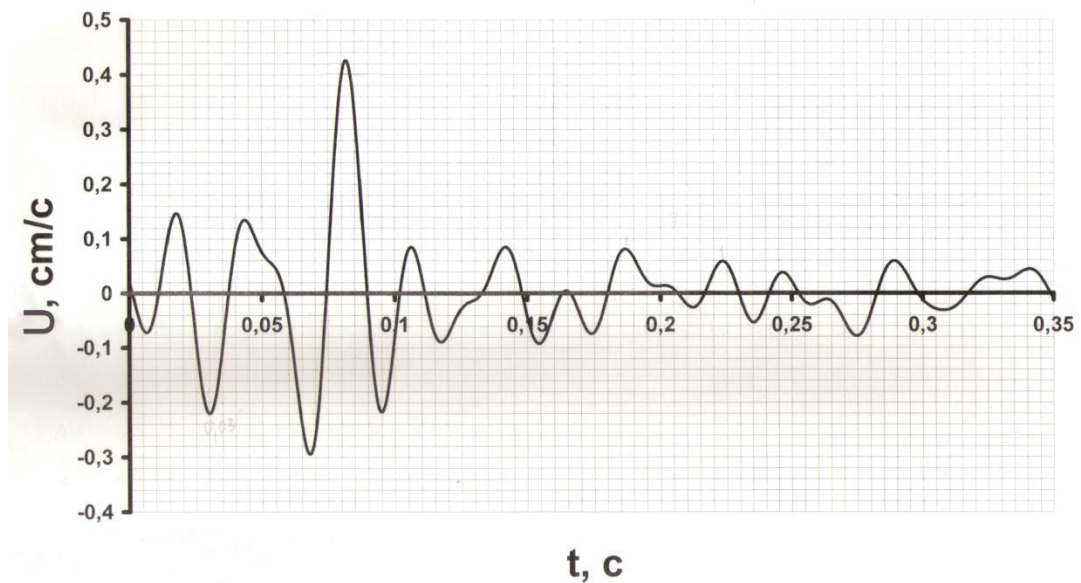


Рисунок 4.7– Сейсмограма швидкості зміщення часток ґрунту вибуху № 5 одиничного свердловинного заряду (канал 1 фільтр 50 Гц) по Z - складовій на відстані 350 м

Ефективна маса одиничного заряду ($Q_{\text{еф}}$) розраховується за формулою для розосередженого заряду (3.11).

У зоні дії СВХ знаходиться житловий одноповерховий цегляний будинок, який має тріщини в несучих стінах ($T_0 = 0,3$ с).

Національним стандартом України [46] передбачається, що допустима швидкість коливань ґрунту під час багаторазових вибухів біля фундаменту будівлі аналогічно розглянутого в даному дослідженні, без урахування періоду коливань ґрунту встановлюється на рівні 0,4 см/с.

Таким чином, без визначення частотної характеристики СВХ (без проведення низькочастотної фільтрації сейсмограми), представленої на рисунку 4.8, проведемо визначення допустимої маси заряду (кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів), використовуючи формулу (4.7) щодо розглянутого житлового будинку при МВ у Рокитнянському кар'єрі на горизонті +126 м:

$$N_{\text{доп}} = \frac{U_{\text{доп}}}{K_c} \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{эф}}^{1/3}} \right)^n = \frac{0,4}{76} \cdot \left(\frac{r}{3,72} \right)^{1,22}. \quad (4.8)$$

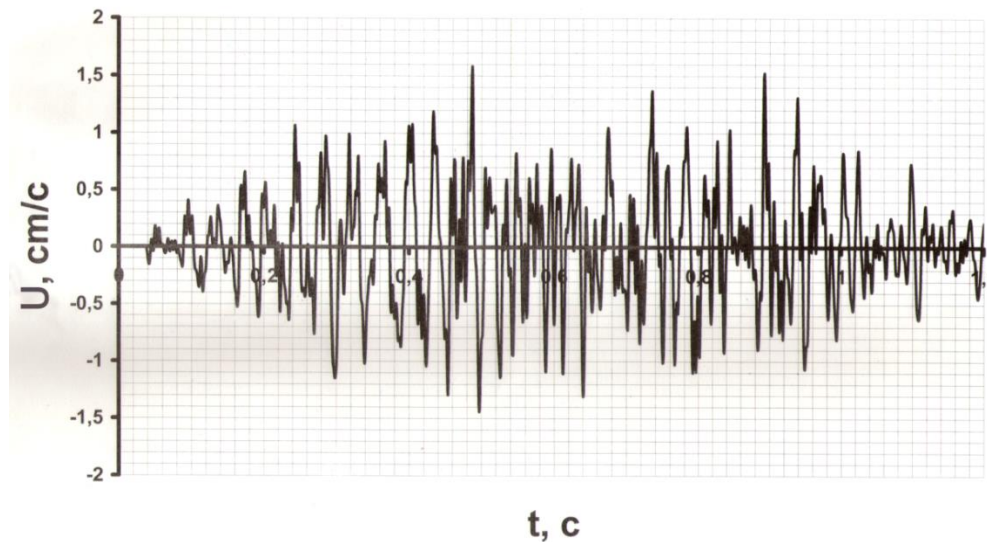


Рисунок 4.8 – Сейсмограма швидкості зміщення часток ґрунту МВ №4 (канал 3) без фільтрації по Z складовій на відстані 280 м

Таблиця 4.3 – Допустима кількість свердловинних зарядів, що одночасно вибухнули, щодо охоронного об'єкту

$r, \text{ м}$	300	400	500	600	700	800	900	1000
$N_{\text{доп}}$	1	1	2	2	3	3	4	5

Наступним етапом досліджень буде визначення допустимої швидкості зміщення для розглянутого житлового будинку з періодом власних коливань $T_0 = 0,3 \text{ с}$ і з урахуванням періоду коливань ґрунту в основі будівлі.

Для цього проведемо фільтрацію сейсмограми (рис. 4.8) на частоті 50 Гц і в результаті отримуємо сейсмограму (рис. 4.9), де максимальне

амплітудне значення швидкості зсуву ґрунту 1,1 см/с під час коливального процесу 0,74 с відповідає періоду 0,028 с (35 Гц).



Рисунок 4.9 – Сейсмограма швидкості зміщення часток ґрунту МВ № 4 канал 3 (фільтрація 50 Гц)

Національним стандартом України ДСТУ 7116: 2009 (п.8.8) [46] передбачається, що допустима швидкість зсуву ґрунту в основі охоронного об'єкта ($U_{\text{доп}}$, см/с) з урахуванням періоду коливань ґрунту (T , с) і власних коливань будівлі (T_0 , с) розраховується за формулою (2.2).

В результаті проведених обчислень за формулою (2.2) допустима швидкість коливань ґрунту для розглянутої будівлі при періоді коливань в СВХ 0,028 с (35Гц) буде:

$$U_{\text{доп}} = 0,4 \cdot 1,84 = 0,74 \text{ см/с.}$$

Аналогічно наведеній вище методиці по визначенню допустимої маси заряду при проведенні МВ на горизонті +126 по відношенню до охоронної будівлі обчислимо за формулою (4.8) допустиму кількість одночасно вибухаючих свердловинних зарядів в залежності від відстані від заряду (блоку) до охоронного об'єкту:

$$N_{\text{доп}} = \frac{0,74}{K_c} \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^n \quad (4.9)$$

Таблиця 4.4 – Допустима кількість свердловинних зарядів, що одночасно вибухнули, щодо охоронного об'єкту

$r, \text{ м}$	300	400	500	600	700	800	900	1000
$N_{\text{доп}}$	2	3	4	5	6	7	8	9

Аналогічним чином визначається допустима кількість одночасно підірваних свердловинних зарядів по відношенню до охоронюваної будівлі з $T_0 = 0,3 \text{ с}$ при $T = 0,066 \text{ с}$ (15 Гц), що визначилося після фільтрації сейсмограмою при 20 Гц (рис. 4.9)

$$N_{\text{доп}} = \frac{0,70}{K_c} \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^n \quad (4.10)$$

Дані розрахунків наведені в таблиці 4.5

Таблиця 4.5 – Допустима кількість свердловинних зарядів, що одночасно вибухнули, щодо охоронного об'єкту

$r, \text{ м}$	300	400	500	600	700	800	900	1000
$N_{\text{доп}}$	2	2	3	4	5	6	7	8

Порівнюючи дані таблиць 4.3 – 4.5 можна зробити висновок, що при проведенні вибухових робіт з урахуванням частотних характеристик об'єкту, що охороняється, і сейсмічної хвилі, можна з більшою ефективністю використовувати буро-вибуховий комплекс для вирішення виробничих завдань.

4.3 Експериментальні дослідження перевірки способу визначення сейсмобезпеки по дії одиничного свердловинного заряду на прикладі моніторингу масових вибухів у кар'єрах

З метою обґрунтованості розробленого в розділі 3 способу, що визначена фактична кількість підірваних зарядів відповідає сейсмічному ефекту (швидкість коливань ґрунту, см/с) від підриву серії свердловинних зарядів всього блоку проведемо експериментальні дослідження по вивченню закономірностей розповсюдження сейсмічних хвиль, збуджених дією короткосповільненого підривання блоку із серії окремих свердловинних зарядів при його руйнуванні у кар'єрах [35].

В умовах кар'єру ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр» з використанням аналого-цифрової вимірювальної апаратури: сейсмоприймачі - СМ-3 і СМ-3В, реєстратор - аналого-цифровий перетворювач АЦП Е-440 і ПК типу ноутбук по методиці наведеній в роз.2 проведено короткосповільнене підривання блоку №21 із серії окремих свердловинних зарядів (діаметром 150 мм); разом із цією серією, на тому ж горизонті був підірваний ідентичний по конструкції і масі зарядів, ще окремо одиничний свердловинний заряд, в профілі блоків встановлювались точки реєстрації коливань з різним інтервалом відстаней між ними [36]. Запис коливань в кожній точці від підриву одиничного і серії зарядів всього блоку проводять одночасно з одержанням осцилограм вибуху. По розшифрованих осцилограмах цих вибухів на різних відстанях ($r_1=350$ м, $r_2=620$ м), визначають швидкості коливань ґрунту, як від підриву одиничного заряду, $U_1=0,42$ см/с, $U_2=0,21$ см/с так і від серії зарядів всього блоку $r_1=350$ м $U_{MB1}=0,84$, $r_2=450$ м; $U_{MB2}=0,61$ см/с [35]. Маючи значення маси одиничного свердловинного заряду ($Q_1 = 120$, кг), відстані від вибуху до кожної точки та швидкостей коливань ґрунту в цих точках складають систему рівнянь (3.6):

$$\begin{cases} 0,42 = K_c \times \left(\frac{350}{120^{1/3}}\right)^{-n} \\ 0,21 = K_c \times \left(\frac{620}{120^{1/3}}\right)^{-n} \end{cases}$$

Показник степені затухання (3.7):

$$n = \frac{\left[\ln\left(\frac{0,42}{0,21}\right)\right]}{\left[\ln\left(\frac{350}{620}\right)\right]} = 1,23$$

Коефіцієнт сейсмічності по формулі (3.8):

$$K_c = \frac{0,42}{\left(\frac{350}{4,92}\right)^{-1,23}} = 79,6,$$

які будуть рівними, як для умов підривання одиничного заряду, так і підриву всього блоку, тільки K_c збільшений на кількість одночасно підірваних свердловинних зарядів N , тоді залежності швидкості коливань ґрунту від серії зарядів всього блоку у двох точках $r_1=350$ м $UMB_1=0,84$, $r_2=450$ м; $UMB_2=0,61$ см мають вигляд (3.9) [35]:

$$0,84 = 79,6 \cdot N \left(\frac{350}{Q_{ef}^{1/3}}\right)^{-1,23}; \quad 0,61 = 79,6 \cdot N \left(\frac{450}{3,72}\right)^{-1,23}.$$

Ефективна маса свердловинного заряду виникає в результаті взаємодії між свердловинними зарядами і розраховується за формулою [35] (3.11) розосередженого заряду $N=2$, $b=1,46$ і $C=0,11$:

$$Q_{ef} = 120 \cdot 0,43 = 51,65^{1/3} \text{ кг} = 3,72 \text{ кг}$$

Із однієї із формул (4.10), одержують максимальну кількість одночасно підірваних свердловинних зарядів (на один ступінь уповільнення що не менше 17 мс) (3.10) [36]:

$$N = \frac{0,84}{79,6 \cdot \left(\frac{350}{3,72}\right)^{-1,23}} = 2,8 \approx 3$$

Емпірична залежність щодо визначення сейсмічного ефекту (швидкість коливань ґрунту, см/с), від короткосповільненого підривання всього блоку із серії окремих свердловинних зарядів (діаметром 150 мм) для умов ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр» має вигляд [36] (3.12):

$$\text{по методу автора } U = 79,6 \cdot N \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-1,23}$$

Для прототипу визначення сейсмічного ефекту (швидкість коливань ґрунту, см/с), від короткосповільненого підривання всього блоку із серії окремих свердловинних зарядів (діаметром 150 мм) проводиться по існуючій формулі М.А. Садовського [6]:

$$U = K \left(\frac{r}{Q_{\text{гп}}^{1/3}} \right)^{-n}, \text{ см/с.} \quad (4.11)$$

Всі значення в (3.12) визначають по даним одержаним при проведенні масового вибуху блоку №21. Маючи значення максимальної маси одиничних свердловинних зарядів, які вибухають миттєво (з інтервалом <17 мс) відповідно схеми вибухової мережі $Q_{\text{гп}} = 480$, кг (4 свердл.), дані $r_1=350$ м $U_{\text{МВ1}}=0,84$, $r_2=450$ м; $U_{\text{МВ2}}=0,61$ см/с. складають систему рівнянь:

$$\begin{cases} 0,84 = K \left(\frac{350}{480^{1/3}} \right)^{-n} \\ 0,61 = K \left(\frac{450}{480^{1/3}} \right)^{-n} \end{cases}$$

$$n = \left[\ln \left(\frac{U_2}{U_1} \right) \right] / \left[\ln \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \right] = \frac{\left[\ln \left(\frac{0,61}{0,84} \right) \right]}{\left[\ln \left(\frac{350}{450} \right) \right]} = 1,28$$

$$K_c = \frac{U_{MB1}}{\left(\frac{r}{Q_{гр}^{1/3}}\right)^{-n}} = \frac{0,84}{\left(\frac{350}{480^{1/3}}\right)^{-1,28}} = 123$$

Та також одержують емпіричні залежності для прототипу щодо визначення сейсмічного ефекту (4.11):

$$U = 123 \left(\frac{r}{Q_{гр}^{1/3}}\right)^{-1,28} \text{ см/с}$$

Розрахунки визначення сейсмічного ефекту (швидкість коливань ґрунту, см/с) по одержаним емпіричним залежностям авторів (3.12) та існуючого методу (4.11) проведені для відстаней $r_1=350$ м, $r_2=450$ м. На цих відстанях були проведені сейсмовиміри і одержані значення швидкості коливань ґрунту від серії зарядів всього блоку у точках $r_1=350$ м; $U_{MB1}=0,84$ см/с та $r_2=450$ м; $U_{MB2}=0,61$ см. Результати розрахунку приведені у порівняльній табл.4.6.

Аналогічні розрахунки були проведені для різних блоків, в умовах кар'єру ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр», розташованих на різних горизонтах де були одержані емпірична залежність, по запропонованому способу, які перевірялись на їх відповідність щодо даним вимірів. Характеристики МВ і результати розрахунків приведені в табл.4.7.

Таблиця 4.6 – Визначення сейсмічного ефекту

Г, м		350	450
Q _{груп} , кг (по схемі КСП)		480	480
По ф-лі авторів	N (ф-ла 3.10)	3	3
	Q1 × N	120 × 3 = 360	360
U, см/с	По існуючому методу (ф-ла 4.11)	0,94	0,69
	По ф-лі авторів (3.6)	0,89	0,64
	Заміряні дані	0,84	0,61

Таблиця 4.7 – Характеристика МВ в Рокитнянському кар'єрі

№ Вибуху	1	2	3	4
Дата вибуху	10.07.15	10.07.15	10.07.15	24.06.15
Діаметр свердловини, мм	130	102	130	102
Кількість свердловин	1	30	66	64
Сітка свердловин а × в, м	-	4,2×3,1	5×4,2	4,2×3,1
Маса заряду в одній свердловині, м.	120	80-90	100-120	108
Загальна маса зарядів, кг.	120	2500	7265	6534
Тип вибухових матеріалів	ЕВР ЕРА2	ЕВР ЕРА2	ЕВР ЕРА2	ЕВР ЕРА2
Система ініціювання зарядів	Імпульс	Імпульс	Імпульс	Імпульс
Емпірична залежність швидкості зміщення часток ґрунту (см/с) від відстані в (м)	$U=531 \times r^{-1.22}$	$U=768 \times r^{-1.22}$	$U=1062 \times r^{-1.22}$	$U=1083 \times r^{-1.22}$

Із табл.4.6, 4.7 робиться висновок, що одержана емпірична залежність (3.12) по запропонованому способу відповідає даним вимірів до 6%, а існуючому методу до 11% тобто сейсмічному ефекту (швидкість коливань ґрунту, см/с) від підриву серії свердловинних зарядів всього блоку.

Графічні залежності швидкості зміщення ґрунту від відстаней, приведених до ефективної маси одиночного та групи зарядів в умовах проведення МВ у кар'єрі ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр» приведені на рис.4.10, 4.11.

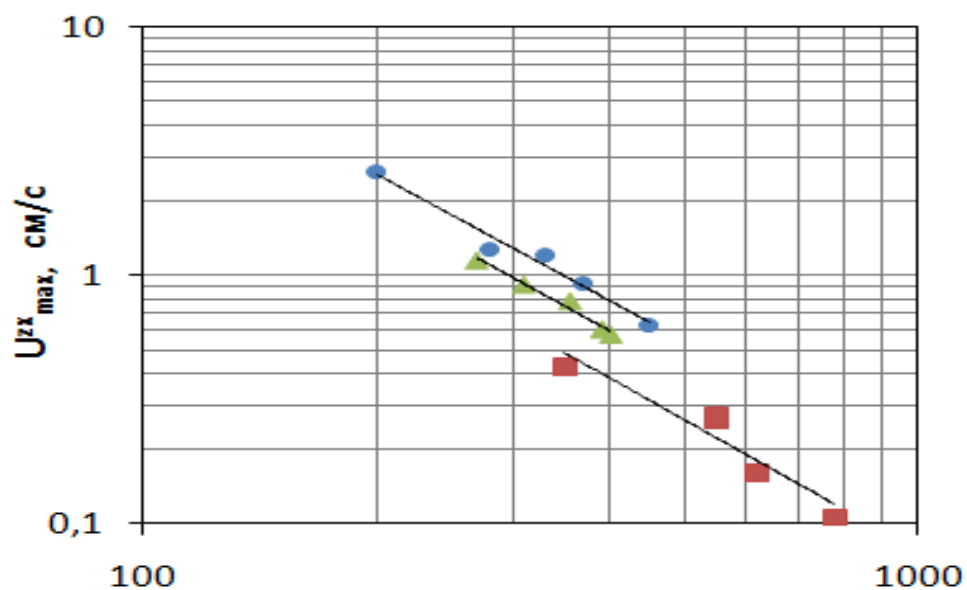


Рисунок 4.10 – Залежності швидкості зміщення ґрунту від відстані при вибуху одиночного свердловинного заряду (табл.4.7) в Рокитнянському гранітному кар'єрі:

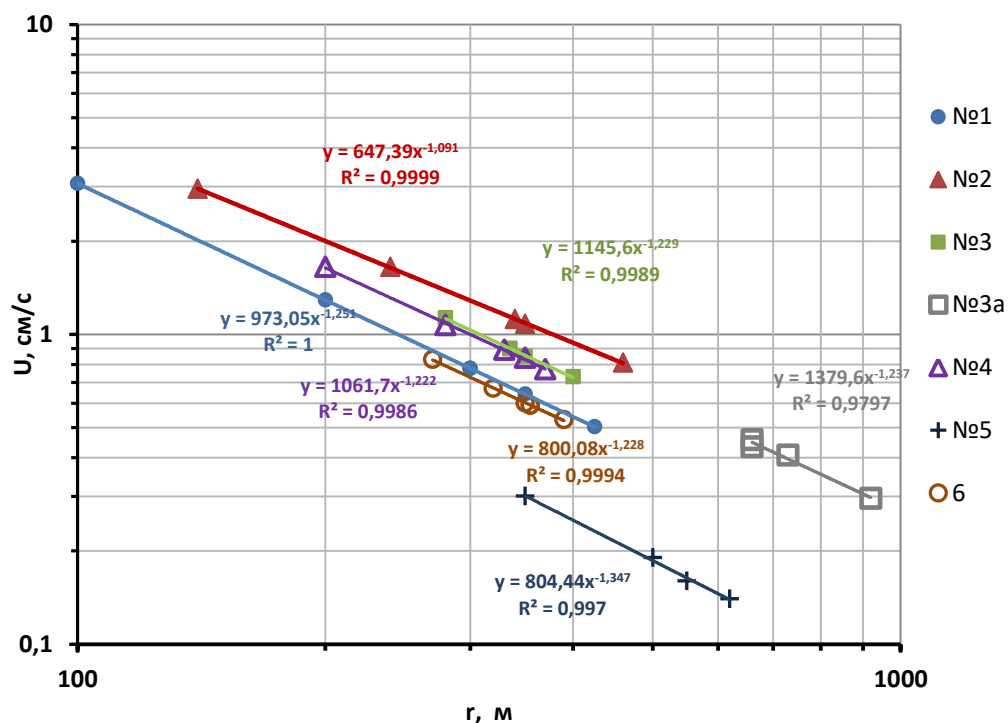


Рисунок 4.11 – Залежності швидкості зміщення ґрунту від відстані при проведенні масових вибухів (позначення – табл. 4.7).

В таблиці 4.8 приведений порівняльний аналіз результатів різних схем підривання.

Таким чином, наші дослідження показали, що замість посвердловинного підривання при розрекламованому новому ініціюванні зарядів вибухають і 2, і 3, а може і більше свердловинних зарядів.

Причиною такого становища є розкид в часі спрацювання уповільнювачів, а також неякісна розробка підривної мережі.

Таблиця 4.8 – Кількість одночасно вибухаючих зарядів при різних схемах підривання

№ вибуху	№1- 	№2- 	№3- 	№3 ^a - 	№4- 	№5- 	№6- 
Кількість одночасно вибухаючих зарядів, визначених по схемі КСП	1	3	2	2	4	2	1
Кількість одночасно вибухаючих зарядів, розрахованих за методикою автора	2	4	3	3	3	1	2

Першу причину можливо зменшити проводячи перевірку одержаних партій уповільнювачів, а другу причину – відмовитись від підривної мережі, коли уповільнення на основному хвилеводі між суміжними свердловинними зарядами менше, ніж на діагональних хвилеводах. Далі, треба уникати випадків, коли розкид спрацювання уповільнювачів на внутрішньо-свердловинних зарядах (≈ 25 мс) співпадають з уповільненнями між суміжними свердловинами.

Наразі ми проведемо порівняльний аналіз по швидкості зміщення ґрунту, одержаної сейсмометричними вимірюваннями і розрахунковим способом по методиці даної роботи (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Порівняльний аналіз результатів сейсмометричних вимірювань і розрахунку сейсмічного ефекту МВ по формулах розосереджених зарядів

МВ №4	Результати сейсмометричних вимірювань	$r, \text{м}$	200	280	330	350	370	
		$U, \text{см/с}$	1,65	1,07	0,89	0,84	0,77	
	Приведена відстань $\bar{r} = r / Q_{\text{еф}}^{1/3}$		53,8	72,5	88,7	94,1	99,5	
	$U = K_c \cdot N \cdot \bar{r}^{-1,22} = 76 \cdot 3 \cdot \bar{r}^{-1,22}$		1,65	1,1	0,9	0,83	0,78	
МВ №6	Результати сейсмометричних вимірювань	$r, \text{м}$	270	320	350	355	355	390
		$U, \text{см/с}$	0,83	0,67	0,60	0,59	0,59	0,53
	Приведена відстань $\bar{r} = r / Q_{\text{еф}}^{1/3}$		80	95	104	105	105	115
	$U = K_c \cdot N \cdot \bar{r}^{-1,22} = 76 \cdot 2 \cdot \bar{r}^{-1,22}$		0,83	0,67	0,60	0,59	0,59	0,53
МВ №3	Результати сейсмометричних вимірювань	$r, \text{м}$	280	335	335	350	400	
		$U, \text{см/с}$	1,13	0,9	0,9	0,85	0,73	
	Приведена відстань $\bar{r} = r / Q_{\text{еф}}^{1/3}$		78,4	94	94	98	112	
	$U = K_c \cdot N \cdot \bar{r}^{-1,22} = 76 \cdot 3$		1,12	0,89	0,89	0,85	0,72	

Як видно із цієї таблиці, фактичні показники швидкості зміщення практично співпадають з нашими розрахунками. Це говорить, по-перше, про якісно розроблену автором методику, а, по-друге, показано, що МВ – це розосереджений заряд і його можливо і потрібно розраховувати по методу розосередженого заряду, а не зосередженого.

Дослідження результатів моніторингу швидкостей сейсмічних коливань, збуджених КСП і окремого свердловинного заряду ВР вздовж профілей в напрямках розташування будівель і споруд на основі сейсмо- і спектрограм, отриманих у визначених точках профілю, та використовуючи метод найменших квадратів, по розробленому автором алгоритму, визначали значення коефіцієнтів K_c та n (табл. 4.10), а фактичну масу одиничного заряду (Q_1 , кг) приводять до ефективної маси ($Q_{\text{еф}}$, кг), яка виникає в

результаті взаємодії між ними. По формулам (3.12, 3.13) одержували емпіричні залежності (табл. 4.10), які для конкретних умов кар'єрів ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр», ТОВ «Вирівський кар'єр», Кошіївський гранітний кар'єр ТОВ «СПАН», в акваторії відстою судів біля земельно-кам'яної греблі Дніпровської ГЕС та ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ» ділянки наближеної до греблі Чернятської ГЕС та будівель с. Шумилів використовували для визначення сейсмічного ефекту (швидкість коливань ґрунту (м/с) та розрахунку сейсдобезпечних відстаней:

– по профільній лінії від кар'єру ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр» до житлових будівель с.м.т. Рокитно апроксимується у вигляді:

Одиночного заряду (D=130 мм)

$$U = 531 \left(\frac{r}{Q_1^{1/3}} \right)^{-1,22}, \text{ м/с} ; \quad r_c = \left(\frac{531}{U_{\text{доп}}} \right)^{0,82} Q_1^{1/3}, \text{ м.} \quad (4.12)$$

Масовий вибух (D= 130 мм)

$$U = 1062 \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-1,22}, \frac{\text{м}}{\text{с}} ; \quad r_c = \left(\frac{1062}{U_{\text{доп}}} \right)^{0,82} Q_{\text{еф}}^{1/3}, \text{ м} ; \quad (4.13)$$

- по профільній лінії від кар'єру ТОВ «Вирівський кар'єр» до житлових будівель с.м.т. Вири та підпірної стінки дробарки (3.12, 3.13) апроксимується у вигляді:

$$U = 265 \times 5 \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-1,25}, \text{ м/с} ; \quad r_c = \left(\frac{1325}{U_{\text{доп}}} \right)^{0,8} Q_{\text{еф}}^{1/3} ; \quad (4.14)$$

- по профільній лінії від Кошіївського гранітного кар'єру ТОВ «СПАН» до газопроводу та опори ЛЕП апроксимується у вигляді:

$$U = 330 \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-2}, \text{ м/с} ; \quad r_c = \left(\frac{330}{U_{\text{доп}}} \right)^{1/2} Q_{\text{еф}}^{1/3} ; \quad (4.15)$$

- по профільній лінії від кар'єру ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ» до ділянки наближеної до греблі Чернятської ГЕС та будівель с. Шумилів (3.12, 3.13) апроксимується у вигляді:

$$U = 73000 \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-1,77}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{1}{r_c} = \left(\frac{73000}{U_{\text{доп}}} \right)^{0,56} Q_{\text{еф}}^{1/3} \quad (4.16)$$

Перевірка розробленого в попередньому розділі методу оцінки сейсмічного ефекту перевіриний для конкретних мереж коротко сповільнених масових вибухів у кар'єрах наведених вище, показала, що алгоритм розрахунку допустимих мас зарядів на одне сповільнення (кількості свердловинних зарядів ВР), з використанням сейсмограм вибуху одиничного заряду ВР і спектрограм масового вибуху показала практично співпадіння фактичних показників швидкості коливань ґрунту з нашими розрахунками. На основі екстраполяції експериментальних даних із застосуванням методу динамічної подібності Ньютона були встановлені емпіричні коефіцієнти $K_{c,n}$ у формулі акад. М.О. Садовського та одержані емпіричні залежності (табл. 4.10), які використані в наступному розділі щодо розробки Рекомендаціях для розрахунку мережі підривання блоків на робочих горизонтах кар'єру, які забезпечують допустимі значення швидкостей коливань біля навколишніх будівель і споруд.

В ф-лах (4.12 – 4.16) та табл.4.10 значення допустимих швидкостей коливань ґрунту, для різних типів хвиль одержували із сейсмограм вибухів на основі аналізу траєкторій руху часток ґрунту. Для житлових будівель

обирались по поверхневій хвилі Релея R ($U_{\text{доп}}^R$), а для споруд (греблі, підпірної стінки та інш.) по поперечній хвилі S ($U_{\text{доп}}^S$).

Таблиця 4.10 – Значення коефіцієнтів K_c , n та емпіричні залежності щодо розробки рекомендацій в умовах кар'єрів, на яких проводилось їх впровадження.

Підприємства. Об'єкти, які охороняються	Емпіричні залежності $Q_{\text{доп}}^{\text{гр}}$, кг	K_c	n
Кар'єр в акваторії відстою судів Дністровської ГЕС. Гребля ГЕС.	$Q_{\text{доп}}^{\text{гр}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{485} \right)^{3/1,5} r_c^3$	485 (U_s^Z)	1,5
ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр». Житлові будинки смт. Рокітно.	$Q_{\text{доп}}^{\text{гр}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{105} \right)^{3/1,25} r_c^3$	105 (U_R^Z)	1,25
ТОВ «Вирівський кар'єр». Підпірна стінка ДСУ, житлові будинки смт. Вири.	$Q_{\text{доп}}^{\text{гр}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{132} \right)^{3/1,25} r_c^3$	132 (U_s^Z) (U_R^Z)	1,25
Коцївський гранітний кар'єр ТОВ «СПАН». Газопровід і опора ЛЕП.	$Q_{\text{доп}}^{\text{гр}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{330} \right)^{3/2} r_c^3$	330 (U_s^Z)	2,0
Кар'єр ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ». Гребля ГЕС та житлові будинки с. Шумилів.	$Q_{\text{доп}}^{\text{гр}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{73} \right)^{3/1,77} r_c^3$	73 (U_s^Z) (U_R^Z)	1,77

Примітка. В табл. 4.10 (U_R^Z), (U_s^Z) – сейсмічна швидкість коливань ґрунту, одержана по координатній осі Z для типів хвиль R та S відповідно (R – поверхнева, S – поперечна)

Висновки до розділу 4

1. Аналітично і експериментально проведена оцінка мереж короткосповільнених масових вибухів, на основі принципу складення хвильових процесів і фазового аналізу під час вибухів окремих розосереджених зарядів ВР в кожному інтервалі сповільнення, що дало можливість уникнути помилок у визначенні допустимої маси вибухової речовини (ВР) на ступінь уповільнення до 30% та обґрунтувати реальне зниження в 1,1-1,3 рази сейсмічного навантаження на гідротехнічні і інженерні споруди при зменшенні кількості ВР, що підривається на ступінь уповільнення в групі розосереджених свердловинних зарядів.

2. Вперше у практиці короткосповільненого підривання зарядів розроблено і перевірено на практиці методику по визначенню фактичної кількості одночасно підірваних зарядів по причині розкиду часу їх ініціювання. Цей метод дозволяє уникати незапланованих підривів зарядів і таким чином унеможливити надлишкову сейсмічну дію при ВР.

3. Експериментальними дослідженнями дискретизації і фонових перешкод при вимірюванні сейсмічних хвиль стандартними сейсмоприймачами в їх робочих діапазонах частот від 0,5 до 50 Гц встановлено, що в районах об'єктів, що охороняються завжди в сигналі присутня але замаскована фонові перешкода 20-50 Гц, тому всі сейсмометричні записи масових вибухів і одиничного заряду підлягали фільтруванню на частоті 20-50 Гц, а сейсмічна безпека оцінюється по параметрам сейсмовибухових хвиль знята з сейсмограм після їх фільтрації.

4. Вперше при моніторингу параметрів СВХ одноразово з МВ був задіяний одиничний заряд, що дало можливість одержати коефіцієнти сейсмічності для МВ, визначити фактичну кількість одночасно підірваних свердловинних зарядів при МВ, а з допомогою аналізу траєкторій руху часток ґрунту визначити типи сейсмічних хвиль як при вибуху одиничного заряду, так і при МВ і досягти зниження в 1,1-1,3 рази сейсмічного навантаження на об'єкти які охороняються.

5. Вперше метод визначення сейсмічної дії МВ представлена як результат підриву розосередженого заряду, що відповідає фактичному стану групі зарядів і дає можливість розрахувати без спеціальних вимірів сейсмобезпечні параметри МВ з точністю що практично не перевищує апаратурні похибки, визначити фактичну кількість одночасно підірваних свердловинних зарядів з більшою точністю; визначити допустимі значення швидкості коливань (критерій сейсмостійкості) охоронних об'єктів.

РОЗДІЛ 5

ВПРОВАДЖЕННЯ ОДЕРЖАНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ СЕЙСМОБЕЗПЕКИ ПО АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ МОНІТОРИНГУ МАСОВИХ ВИБУХІВ У КАР'ЄРАХ

5.1 Методика проведення моніторингу масових вибухів щодо розроблених методів оцінки сейсмобезпеки у кар'єрах

Розробка рекомендацій та впровадження результатів дослідження проводились на основі аналізу результатів моніторингу масових вибухів, які виконувались у кар'єрах і по яким, з застосуванням приведеної в розділі 2 апаратури і методики, були одержані сейсмо- і спектрограми вибухів для конкретних гірничо-геологічних умов. Оскільки в протоколах, які за результатами моніторингу масових вибухів одержували сейсмографом Mini Mate Plus, вказувалася і величина тиску на фронті ударної повітряної хвилі, тому ці значення також використовувалися для аналізу. Крім того осцилограми, одержані аналого-цифровою апаратурою, фільтрувалися поведеному в розділі 2 способу. При аналізі сейсмограм МВ, що складаються зі значного числа вибухових свердловинних зарядів на блоці, було встановлено, що час сейсмічних коливань ґрунту під охоронним фундаментом τ перевищує час ініціювання всіх зарядів $\tau_{\text{заг}}$ - тривалість вибуху, в т. ч. часу протікання детонації в хвилеводі, для чисельної характеристики цього явища використовували параметр сейсмічної інтенсивності, який дозволяє оцінити дію КСП, враховуючи загальну масу ВР, яку підривають за 1мс $K_{\text{інт}} = Q_{\text{заг}} / \tau_{\text{заг}}$ [70].

Перед кожним записом сейсмоколивань за даними паспорта на проведення МВ, фіксувалися такі параметри, як його тривалість, час підриву окремих зарядів, інтервал уповільнення окремих груп, максимальна маса вибухівки, яка припадає на ступінь уповільнення, відстань від точки

спостереження до вибухового блоку r . При чисельному аналізі результатів масового вибуху з виразу (3.11) відбувалося визначення фактичної кількості одночасно підірваних зарядів по розкиду часу їх ініціювання, а з аналітичного виразу (3.10) визначалася величина приведеної до відстані маси зосередженого і розосередженого заряду $r/Q^{1/3}$. Де Q вибирали, з представлених схем КСП, по діагоналі з максимальною кількістю зосереджених свердловинних зарядів (або масу заряду BP – суму заряду в кожній свердловині), які зініціювались з інтервалом сповільнення менше 17 мс. Саме ця величина заряду BP , по існуючому методу оцінки, повинна визначати сейсмоефект масового вибуху. Для перевірки цих даних та достовірності розроблених в розділах 3 і 4 методів при аналізі схеми комутації КСП враховувалась кількість свердловинних зарядів в максимальній групі, які порівнювались з кількістю розосереджених свердловинних зарядів, одержаних по аналізу результатів моніторингу, що приймають за критерій при визначенні допустимої маси BP для всіх наступних вибухів. При цьому застосовувались одержані в розділах 3, 4 формули, які враховують те, що сумарне хвильове поле утворюється шляхом інтерференції хвиль за рахунок вибухів окремих свердловинних зарядів, зсув фаз яких не перевищує 90° , а також формули щодо визначення параметрів сейсмічних хвиль по кількості розосереджених зарядів N_c . По даним аналізу результатів моніторингу МВ для конкретних умов кар'єрів були одержані степеневі залежності швидкості коливань ґрунту по профілям в напрямках розташування навколишніх будівель і споруд, від величини приведенного одиничного і групового розосереджених зарядів BP і визначені межі змін емпіричних коефіцієнтів у них: для одиничного і групових свердловинних зарядів. Отримані емпіричні залежності по методу розосередженого заряду з аналізу результатів моніторингу МВ (сейсмометричних вимірювань) порівнювались, як на відповідність їх фактичній інтенсивності сейсмічних хвиль цих груп зарядів, так і на відповідність кількості вибуху розосереджених зарядів.

Метод оцінки сейсмоефекту для різних схем короткосповільненого підривання за сейсмостійкістю будівель і споруд полягав в тому, що до початку масового вибуху в промислових умовах за існуючою методикою, відображених в «Правилах безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» [46], установлені допустимі норми швидкості коливань ґрунту біля фундаментів будівель і споруд II-V класів. За дією сейсмічних хвиль, збуджених одиночними та короткосповільненими вибухами визначався допустимий рівень швидкості коливань для конкретних будівель, які розташовані поблизу місця проведення підривних робіт.

За результатами виконаних досліджень нижче наведені «Рекомендації щодо безпечного ведення підривних робіт» з використанням емпіричних залежностей (табл. 4.10) в умовах кар'єрів, зазначених в табл. 5.1, а обмеження масштабів вибухів свердловинних зарядів на блоках встановлювались у залежності від відстані від місця вибуху до об'єкту по графікам наведеним на рис.5.1

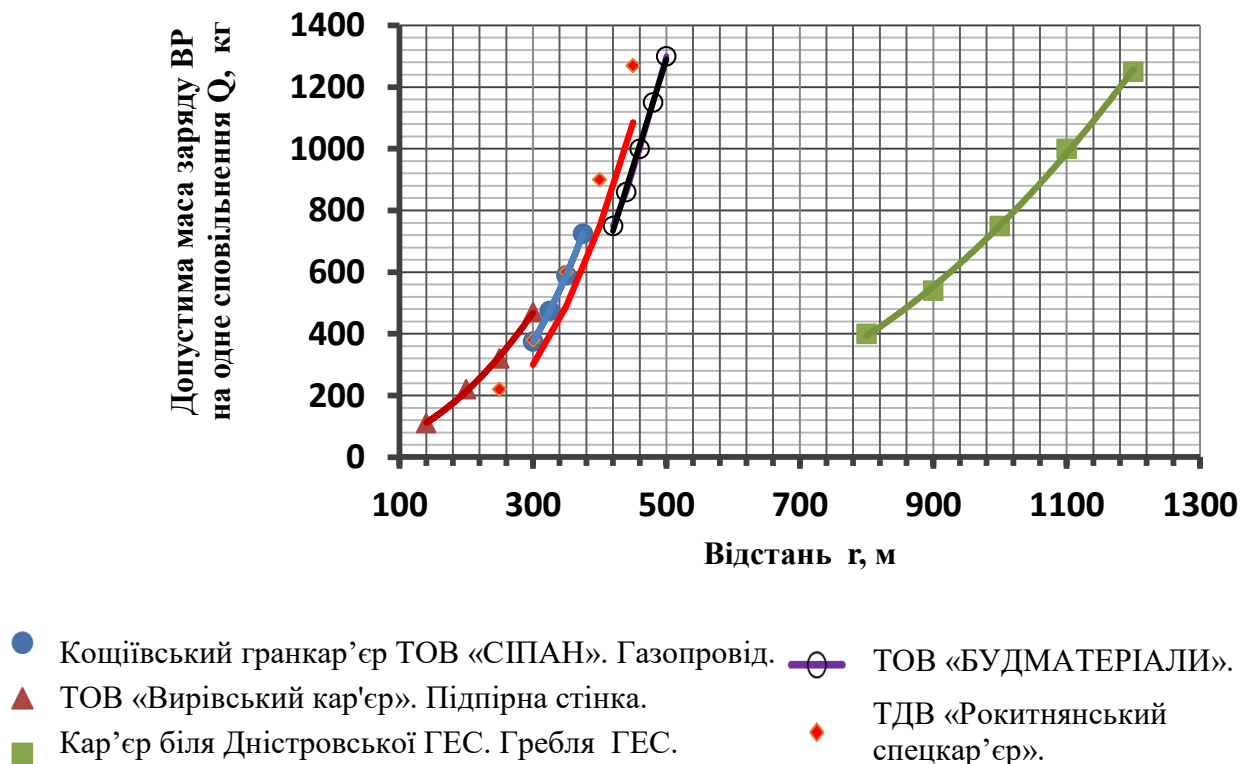


Рисунок 5.1 – Рекомендації щодо безпечного ведення підривних робіт.

Таблиця 5.1 – Перелік кар'єрів та наближених до них об'єктів, на яких проводився моніторинг масових вибухів

№	Назва підприємства	Об'єкт, що охороняється	Відстань від вибуху до найближчого об'єкту, м	Допустима бальність, в балах по шкалі MSK	Система ініціювання	Метод обмеження масштабу вибухів по максимальній масі заряду ВР, (в макс. гр.) в кг	
						до впровадження по масі зосередженого заряду	після впровадження по масі розосередженого заряду (рис.5.1)
1	кар'єр в акваторії відстою судів	Земельно-кам'яна гребля Дністровської ГЕС, порушена тріщинами	460	2	ЕДКЗ, магістраль ДШ	3200	Загальна маса не обмежується
2	ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр»,	Житлові будинки пгт. Рокитно III-ї категорії, порушені тріщинами	300	2	НЕСІ	7800	Загальна маса не обмежується
3	ТОВ «Вирівський кар'єр»	Підпірна стінка Дробарка первинна	150	4	НЕСІ	12000	Загальна маса не обмежується
4	Коцївський гранітний кар'єр ТОВ «СПАН»	Газопровод магістральний Опора ЛЕП	300 400	4 3	НЕСІ	3000 (670)	Загальна маса не обмежується
5	кар'єр ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ»	гребля Чернятської ГЕС та будівлі с. Шумилів III-ї категорії, порушені тріщинами	200 500	4 2	НЕСІ	3200	Загальна маса не обмежується

5.2 Впровадження одержаних методів оцінки сейсмобезпеки з аналізу результатів моніторингу масових вибухів у кар'єрі в акваторії стоянки судів

Наведемо дослідження дії сейсмовпливів на стан земельно-кам'яної греблі Дністровської ГЕС від проведення масових вибухів в акваторії стоянки судів і при роботі її гідроагрегатів. У зв'язку з тим, що нормативні бази для сейсмооцінки дії масових вибухів на такі споруди відсутні, то автором проведено порівняльну динамічну оцінку станів греблі і споруд Дністровської ГЕС від впливу вібрацій гідроагрегатів під час їх пуску, роботи, зупинки, а також - від сейсмічного впливу проведення МВ. Це дозволило встановити критерій оцінки допустимих рівнів коливань, що забезпечать цілісність греблі. При цьому у районі Дністровської ГЕС було проведено заміри значень сейсмоколивань (вібрацій) як при роботі станції в різних режимах, так і при проведенні масових вибухів в акваторії стоянки судів. Виміри проводилися в основі греблі і на її гребні, також всередині споруди ГЕС. Для запису параметрів СВХ, що виникли в результаті масових вибухів, і параметрів швидкості коливань пуску-роботи-зупинки гідроагрегатів застосовувались приведені в розділі 2 методика і апаратура, що використовувалася.

За результатами вимірювань і подальшої обробки одержаних сейсмограм було визначено параметри динамічних навантажень, отриманих при виробництві МВ та при різних режимах роботи гідроагрегатів, і в залежності від максимального значення встановлено рівень інтенсивності сейсмоколивань згідно шкали MSK-64 в балах. За результатами апаратурних вимірювань по характерним профілям та на різних відстанях від блоку, що підривається, зареєстровано різні рівні сейсмоколивань. Під час вибуху 16.09.06 р. їх максимальна інтенсивність відповідає III-м балам, 16.10.06 р.- III-м балам, 25.11.06 р. – I-му балу, а 18.01.07 р. - II-м та III-м балам згідно шкали MSK-64. Відповідно, інтенсивність динамічних впливів при запуску, роботі та зупинці гідроагрегатів на тіло греблі (правий берег, відм. +82; +99; +127) еквівалентна

сеймонавантаженню в II- III бали та становить III-IV бали безпосередньо біля самих агрегатів (машинний зал).

Оскільки навантаження, спричинені гідроагрегатами є постійно діючими і такими, що не призводять до порушень в греблі і спорудах, то їх було прийнято за критерій оцінки сейсmobезпечності для вибухових робіт. При цьому допустимою швидкістю сейсмічних коливань (в балах), яка буде забезпечувати збереження кам'яно-земельної греблі, була прийнята швидкість, що не перевищує величини коливань, зареєстрованих на тілі греблі, від запуску, роботи або зупинки агрегатів Дністровської ГЕС. Якщо одержано максимальні сеймонавантаження при роботі гідроагрегатів в III бали, то з урахуванням пониження інтенсивності на один бал, за допустиму величину інтенсивності сейсмоколивань при проведенні вибухових робіт потрібно прийняти II бали по шкалі MSK-64 [65].

Слід відмітити, що в існуючих нормах відсутні дані, щодо оцінки сейсмостійкості окремих гідротехнічних та інженерних споруд з підпірними стінками та ін. об'єкти. Тому для останніх щодо їх стійкості, без нанесення ушкоджень, в роботі були прийняті обмеження (допустимі значення), які відповідають значенню швидкостей коливань не більше ніж максимальні вібрації, які діють в процесі експлуатації гідротехнічних та інженерних споруд, або сейсмічній бальності району розташування (місця прокладених газопроводів, опори ЛЕП, земельні греблі та ін.). Тому Рекомендації (рис.5.1) щодо визначення допустимих швидкостей коливань для земельно-кам'яної греблі Дністровської ГЕС, підпірної стінки, опор ЛЕП та магістрального газопроводу виконані з урахуванням сейсмічних навантажень від дії поперечних хвиль $S(U_{\text{доп}}^S)$, а для житлових будівель - поверхневих (Релеївських) хвиль $R(U_{\text{доп}}^R)$.

5.3 Впровадження одержаних методів оцінки сейсмобезпеки по аналізу результатів моніторингу масових вибухів на гранітному кар'єрі ТОВ «Вирівський кар'єр»

Використовуючи розроблений метод оцінки сейсмоефекту КСП по принципу складення хвильових коливань під час вибуху розосередженого заряду, одержаного в розділі 4, наведемо результати досліджень вибухових робіт у гранітному кар'єрі ТОВ «Вирівський кар'єр» при проходці траншеї для нарізання добувного горизонту 132–118 м біля об'єкту, що потребує сейсмосахисту – «підпірна стінка» дробарного комплексу, яка знаходиться у кар'єрі на відстані 100 м від горизонту +132 м. Тому проект проходки траншеї передбачав розроблення спеціальної технології безпечного проведення БВР. Ураховуючи те, що об'єкти на одному і тому ж горизонті (132 м), мінливість гірничо-геологічних умов і геометричних параметрів траншеї по трасі її будівництва, визначення безпечних параметрів БВР здійснювалося в межах одного профіля.

Охоронний об'єкт («підпірна стінка» дробарного комплексу) знаходився в напрямку торцевої частини рядів, що підриваються вибухом. Але у зв'язку з відносно великим періодом коливань в поперечній хвилі (0,035 с) і швидкістю її поширення (2350 м/с) відбувається складення в повному об'ємі коливань від вибухів всіх 6 зарядів ряду, що негативно відображається на сейсмостійкості «підпірної стінки» дробарного комплексу.

Під час вибухів розосереджених зарядів, прикладом яких є приведені в розділі 4 дослідження МВ в ТОВ «Вирівський кар'єр» на горизонті 132 м, сейсмічний ефект визначається не лише масою заряду, але й взаємодією зарядів, їх кількістю і відстанню між ними. Всі ці особливості розосередженого заряду враховуються формулою (4.7), з допомогою якої була розрахована швидкість зміщення (см/с) в СВХ під час вибуху розосередженого заряду, кг.

Ефективна загальна маса Q_{ef} , яка складається з окремих зарядів, маса яких також відноситься до ефективної, визначалась по формулі (3.11).

В даному випадку підприємство ТОВ «Вирівський кар'єр» надав дані, за якими сейсмічні коливання, що впливають на дробильний комплекс у кар'єрі, не повинні перевищувати 3-4 бали за шкалою MSK-64. За сейсмічною шкалою для вибухів це становить 0,8-0,15 см/с. Причому, перша цифра 0,8 см/с відноситься до багатократних навантажень (МВ в кар'єрі), а друга – 1,5 см/с – до однократних.

Таким чином, допустимою швидкістю зміщення ґрунту в основі дробарного комплексу у ТОВ «Вирівський кар'єр» являється 0,8 см/с.

Маючи величину допустимої швидкості зміщення (U_{don}) і використовуючи формулу (4.7) можна визначити сейсмобезпечне ведення вибухових робіт у ТОВ «Вирівський кар'єр», що і подано в таблицях 5.2 і 5.3 та на рисунку 5.1.

Таблиця 5.2 – Установлені значення сейсмобезпечної маси ВР на ступінь сповільнення для кар'єру ТОВ «Вирівський кар'єр»

r , м	300	280	260	240	220	200	180	160	140
Q_{ep} , кг	170	140	110	90	70	50	35	25	20

Таблиця 5.3 – Сейсмобезпечна маса заряду ВР на одну ступінь сповільнення в залежності від відстані до дробарного комплексу при здійсненні вибухових робіт на діючих уступах кар'єру

r , м	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Q_{ep} , кг	30	95	220	430	740	1200	1700	2400	3400	4500	5900

Інтервал сповільнення також не менше 20-25 мс.

Інтервал сповільнення не менше 20-25 мс, тому що зсув фаз між окремими розосередженими свердловинними зарядами буде перевищувати 90°.

План гірничо-видобувних робіт гранітного кар'єру ТОВ «ВИРІВСЬКИЙ КАР'ЄР» з нанесеними лініями допустимих мас зарядів, підриваємих в максимальній групі (стосується тільки горизонтів +132, +145, +157 та +170 м) одержаний по моніторингу масових вибухів.

5.4 Впровадження одержаних методів оцінки сейсмобезпеки по аналізу результатів моніторингу масових вибухів у гранітному кар'єрі ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр»

ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр» розробляє граніти з коефіцієнтом міцності IX по Протод'яконову. Відпрацювання родовища проводяться уступами 10-12 м з використанням свердловинних зарядів ВР з середньою глибиною 12,5 м, діаметрами 102 та 125 мм. Виконання моніторингу МВ були спрямовані на впровадження одержаних в розділах 3, 4 методів оцінки сейсмоефекту та виготовлення Рекомендацій щодо сейсмобезпечного проведення свердловинно- підривних робіт на гранітному кар'єрі ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр» в умовах наближення робочих горизонтів +136 м та +101 м на відстані 280-660 м до житлових будинків смт. Рокитне, Київської області для вибору сейсмобезпечних мас заряду на цих горизонтах і створення сейсмобезпечних умов відпрацювання їх запасів.

Основні показники характерних масових вибухів, які проводились на гранітному кар'єрі ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр» з наступними сейсмовимірами їх дії в зоні розташування будинків по вулицях Білоцерківська та Метлицького, приведені в таблиці 5.4

Таблиця 5.4 – Показники характерних масових вибухів

вулиця Білоцерківська			
№ Каналу	Датчик	Швидкість коливань, У _{см/с}	Відстань від блоку, м. Місце встановлення
Перший вибух блок №16			
1	15z	0.962	400
2	5z	1.940	280 Буд.34 (Соломко С.М.)
3	6х	1.600	335 Буд. 20 (Сибилив Ю.В.),
4	23z	1.200	335 Буд. 20 (Сибилив Ю.В.),
Другий вибух блок №19			
1	15z	0.193	730
2	5z	0.240	610 Буд.34 (Соломко С.М.)
3	6х	0.456	660
4	23z	0.433	660
Вулиця Метлицького			
Перший вибух: блок №20 ($Q_{заг} = 7265\text{кг}$, $Q_{зр} = 3 \times 120 = 360\text{кг}$)			
1	21z	3.44	200 (грунт-поле)
2	11z	1.42	370 Буд.32 (Рижков Р.М.),
3	5 z	1.59	280 Буд. 34 (Соломко С.М.)
4	23z	1.39	330 гараж,
5	6х	1,48	330 гараж
Другий вибух: 1-на сверд. ($Q_{заг} = 120\text{кг}$, $Q_{зр} = 120\text{кг}$)			
1	21z	0.434	350 (грунт-поле)
2	11z	0.23	620 Буд. 32 (Рижков Р.М.),
3	5 z	0.51	500 Буд. 34 (Соломко С.М.)
4	23z	-0,35	550 гараж,
5	6х	0,28	550 гараж
Третій вибух: блок №21 ($Q_{заг} = Q_{зр} = 1 \times 90 = 90$)			
1	21z	1.64	270 (грунт-поле)
2	11z	1.01	390 Буд.32 (Рижков Р.М.),
3	5 z	-1.2	310 Буд. 34 (Соломко С.М.)
4	23z	1.16	355 гараж,
5	6х	0,88	355 гараж

Максимальні швидкості зміщення в основному відбуваються при частотах 62.5÷68.965 Гц.

Відповідно до державного стандарту [46], що ґрунтується на методиці Інституту гідромеханіки (ІГМ) НАН України, визначається допустима швидкість коливань ґрунту в основі охоронних об'єктів ($U_{дон}$, см/с), як основного критерію сейсмонебезпеки МВ, а допустима маса ВР ($Q_{доп}$, кг) на ступінь уповільнення визначається по результатам аналізу моніторингу масових вибухів з одержаних з методу розосереджених зарядів емпіричних

залежностей. Розраховані допустимі значення сейсмічно безпечної маси ВР на ступінь уповільнення для кар'єру ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр» наведені в таблиці 5.5 та на рисунку 5.1.

Таблиця 5.5 – Установлені значення сейсмічно безпечної маси ВР

г, м	250	300	350	400	450	500	550	600	($U_{дон}$, см/с)
$Q_{доп}$, кг	140	240	380	570	800	1100	1480	1900	1,2 см/с
г, м	250	300	350	400	450	500	550	600	($U_{дон}$, см/с)
$Q_{доп}$, кг	245	423	671	1000	1428	1958	2606	3384	1,9 см/с
г, м	250	300	350	400	450	500	550	600	($U_{дон}$, см/с)
$Q_{доп}$, кг	90	160	248	370	528	724	963	1250	1 см/с

5.5 Впровадження одержаних методів оцінки сейсмобезпеки з аналізу результатів моніторингу масових вибухів у гранітному кар'єрі ТОВ «СПАН»

Гранітний кар'єр ТОВ «СПАН» розробляє граніти з коефіцієнтом міцності IX по Протод'яконову. Відпрацювання родовища проводяться уступами 6-10 м з використанням свердловинних зарядів ВР з середньою глибиною 7 м, діаметр 115 мм. Виконання моніторингу МВ були спрямовані на виготовлення Рекомендацій, щодо оцінки безпеки від дії масового вибуху на опору ЛЕП 330 кВ та магістрального газопроводу РУ-55 кг/см, які розташовані на ділянках прилеглих до кар'єру.

Результати сейсмівимірювань та допустимі швидкості коливань приведені в таблиці 5.6.

З аналізу приведених даних видно, що для всіх об'єктів, що охороняються інтенсивність сейсмічних коливань не перевищує III балів.

Таблиця 5.6 – Результати сейсмовимірювань

№ пук	№ Вим. канал	№/тип датч (складова)	Місце встановлення датчиків	Відстань до вибуху, м	Максимальна швидкість коливань, см/с		Допустима інтенс.	
					По складови	Сумарна, см/с, (бал)	см/с	бал
1	1	СМ-3 (Z)	на ґрунтовій основі над магістральним газопроводом II	400	0,524	0,81 (III)	до 1,5	IV
	2	5 СМ-3В (X)	на ґрунтовій основі над магістральним газопроводом II		0.411			
	3	188 СМ-3 (Z)	на ґрунтовій основі над магістральним газопроводом II		0,48			
2	4	202 СМ-3В (Z)	на ґрунтовій основі над магістральним газопроводом I	410	0,275	0,35 (II)	3,0	VI
	5	32 СМ-3 (Y)	на ґрунтовій основі над магістральним газопроводом I		0,192			
3	6	196 СМ-3В (Z)	на ґрунтовій основі біля опори ЛЕП 330 кВ	440	0,37	0,58 (III)	3,0	VI
	7	217 СМ-3В (Z)	на каркасі опори ЛЕП 330 кВ		0,452			
4	8	166 СМ-3 (Z)	на ґрунтовій основі	490	0,303			

На основі аналізу одержаних осцилограм та спектрограм від проведеного масового вибуху можливо зробити наступні висновки, що сейсмічна бальність на ділянках розташування об'єктів, які охороняються, становила:

- для магістральних газопроводів I та II - в межах 4 -х балів , що не перевищило допустиму норму для об'єктів, розташованих в районі з сейсмічною бальністю IV;

- в зоні опори ЛЕП інтенсивність сейсмічної хвилі становила 0,37 см/с на ґрунтовій основі, а на каркасній основі - 0,452 см/с. З огляду на те, що одержано зменшення максимальної швидкості на каркасі опори по відношенню до коливань її ґрунтової основи, можливо зробити висновок, що збуджені

сейсмічні хвилі по проведеній схемі вибуху характеризуються спектром, в якому піки максимальних амплітуд не співпадають з власними частотами конструкції;

- вибух відповідає сейсмічній дії по інтенсивності за шкалою MSK-64 до IV балів, що в повній мірі забезпечує безпечну експлуатацію охоронюваних об'єктів.

Розрахунки по приведеній вище методиці показані в таблиці 5.7. Сейсмобезпечні маси ВР на ступінь уповільнення на опорі ЛЕП 330 кВ та магістрального газопроводу РУ-55 кг/см², які розташовані на ділянках, прилеглих до робочого горизонту + 136 гранітного кар'єру, приведені на рисунку 5.1.

Таблиця 5.7 – Результати сейсмовимірювань

Об'єкти	r, м	K	N	Q _{эф} , кг	V, см/с	Інтенсивність, бали	
						розрах.	допуст.
Магістр. газоп. I	440	327,6	8	24,1	1,34	до IV	IV
Магістр. газоп. II	455	327,6	8	24,1	1,27	до IV	IV
Опора ЛЕП 330 кВ	460	327,6	8	24,1	1,25	до IV	IV

5.6 Впровадження одержаних методів оцінки сейсмобезпеки з аналізу результатів моніторингу масових вибухів у гранітному кар'єрі ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ»

Відповідно до Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення (п.6.9) [44], Технічних правил ведення вибухових робіт на денній поверхні [47], Державних стандартів України [45, 46], сейсмічної бальності району греблі та розробленим в розділах 3, 4 методам оцінки сейсмоефекту КСП вибуху були виконані сейсмоконтрольні виміри та

емпіричні розрахунки масового вибуху, спрямовані на виготовлення Рекомендацій щодо сейсмобезпечного проведення БВР на даному кар'єрі в умовах відпрацювання запасів гранітів на північно-східному фланзі родовища Жорилківське відносно ділянки, наближеної до греблі Чернятської ГЕС та житлових будинків села Шумилів. Також було проведено обстеження технічного стану найближчих до підриваємого блоку житлових будинків села Шумилів. по вул. Набережній та греблі. У відповідності з [47] (додаток 49 п. 2.2 глава 2 розділ IX табл. 9.1) та ДСТУ України [45, 46] були визначені допустимі сейсмічні норми для цих об'єктів (рисунок 5.1). Докладніше з Рекомендаціями можна ознайомитись у додатку Б.

5.7 Методика розрахунку техніко-економічного ефекту від впровадження розроблених рекомендацій при виконанні буровибухових робіт у кар'єрах

Економічний ефект від впровадження результатів досліджень у кар'єрах досягається за рахунок підвищення якості подрібнення гірської маси, підвищення продуктивності гірничо-транспортного та дробарно-сортувального обладнання, зниження витрат на ремонт об'єктів, що охороняються, від сейсмічного впливу промислових вибухів.

Розрахунок очікуваного економічного ефекту виконаний у відповідності до основних положень роботи («Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.:ВИНИТИ, 1977. –17 с.»).

Очікуваний сумарний річний економічний ефект по 5-ти кар'єрах, розрахований по приведеній вище методиці становить:

$$\begin{aligned} E_p &= E_{p1} + E_{p2} + E_{p3} + E_{p4} + E_{p5} = \\ &= 99900 + 47350 + 143500 + 116000 + 167000 = 573750 \text{ грн} \end{aligned}$$

Акт провадження і розрахунок приведені в додатку Г.

За результатами виконаних досліджень складено і передано на кар'єри (ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр», ТОВ «Вирівський кар'єр», Кошіївський гранітний кар'єр ТОВ «СПАН» та в акваторії стоянки судів біля земельно-кам'яної греблі Дністровської ГЕС) для впровадження «Рекомендації щодо безпечного ведення підривних робіт». Розрахунковий річний очікуваний сумарний економічний ефект від впровадження рекомендацій, за рахунок зменшення кількості вибухів та годин простою гірничо-видобувного обладнання на п'яти кар'єрах, становить $\approx 0,6$ млн. грн.

Висновок до розділу 5

1. Одержав подальший розвиток метод оцінки допустимої сейсмобезпеки по визначенню сейсмічного впливу масових вибухів на стійкість земельно-кам'яної греблі Дніпровської ГЕС, греблі Чернятської ГЕС, магістрального газопроводу й опори ЛЕП та підпірні стінки ДСУ, одержано емпіричні залежності для кількісного оцінювання цього впливу по масі і кількості розосереджених зарядів ВР, які миттєво вибухають в групі та доведено, що їх стійкості, без нанесення ушкоджень, відповідають значенню швидкостей коливань, не більше ніж максимальні вібрації, які діють в процесі їх експлуатації або сейсмічної бальності району розташування. Це дало можливість уникнути помилок у визначенні допустимої маси вибухової речовини (ВР) на ступінь уповільнення до 30% та обґрунтувати реальне зниження в 1,1-1,3 рази сейсмічного навантаження на гідротехнічні і інженерні споруди при зменшенні кількості ВР, що підривається на ступінь уповільнення в групі розосереджених свердловинних зарядів.

2. Розроблена методика дозволила встановити сейсмічно безпечні параметри масових вибухів, які було використані при проектуванні

буропідливних робіт (БПР) у процесі видобутку корисних копалин на кар'єрах ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр», ТОВ «Вирівський кар'єр» , Кошіївський гранітний кар'єр ТОВ «СПАН» та в акваторії відстою судів біля земельно-кам'яної греблі Дніпровської ГЕС, що дозволило зменшити, на час проведення цих робіт, розміри санітарно-захисної зони з 450 до 300 м, уникнути необхідності винесення за межі цієї зони житлових будинків с.м.т.Рокитне, забезпечити нормальну експлуатацію підпірної стінки дробарного комплексу, розташованого на горизонті +132 м кар'єру ТОВ «Вирівський кар'єр», магістрального газопроводу й опори ЛЕП, розташованих в зоні 300,400 м від західних границь Кошіївського гранітного кар'єру та безперебійної роботи агрегатів Дністровської ГЕС не зменшенням, а збільшенням масштабів масових вибухів у цих кар'єрах, що дозволило зменшити їх кількість та годин простою гірничо-видобувного обладнання. Очікуваний економічний ефект складає більше 570 тис.грн.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідницькою роботою, у якій вперше на основі результатів аналітичних і промислових досліджень запропоновано вирішення актуального для кар'єрів науково-практичного завдання підвищення сейсмобезпеки вибухових робіт, яке досягається за рахунок розробленого автором нового методу оцінки сейсмічного ефекту короткочасного підривання, основаного на алгоритмі розрахунку максимальної маси ВР на ступінь уповільнення, що дозволяє проектувати схеми підривання блоків на робочих горизонтах кар'єру, які забезпечують допустимі значення швидкостей коливань біля навколишніх будівель і споруд.

При виконанні досліджень у дисертаційній роботі отримано наступні наукові і практичні результати:

1. Розроблений метод оцінки сейсмічного ефекту КСП дозволив проводити його прогнозування як в межах одного горизонту, так і по всім робочим горизонтам кар'єрного поля, визначати фактичну кількість одночасно підірваних зарядів, в т.ч. і за наявності непланового часового розкиду їх ініціювання, одержати розрахункові параметри сейсмічних хвиль на рівні допустимих похибок сейсмометричної апаратури.

2. Унаслідок дослідження результатів моніторингу масових вибухів у кар'єрах уперше у практиці вітчизняних робіт при обробці результатів сейсмометричних вимірів використаний спосіб низькочастотної фільтрації сейсмограм, що дозволило впевнено виділити із спектру коливань необхідні по частоті хвилі для дослідження їх взаємодії із охоронним об'єктом, а також використати значення видимого періоду коливань для визначення сейсмобезпечних параметрів вибуху.

3. Уперше визначені із сейсмограм масових вибухів типи хвиль дозволили оцінити їх сейсмобезпеку на такі об'єкти як: житлові і адміністративні будівлі масової забудови, для яких їх власні гармоніки найнебезпечніше проявляються в спектрах поверхневих хвиль Релея «R», а уступи, підпірна стінка дробарки, споруди і гребля ГЕС найнебезпечніше

проявляються в спектрах поперечних хвиль «S», що дозволило збільшити точність розрахунку допустимих швидкостей коливань біля цих об'єктів до 15%.

4. Реалізація результатів дослідження при проведенні вибухових робіт з застосуванням прийнятого критерію оцінювання стійкості та норм для будівель, уступів, кам'яно-земельної греблі, магістрального газопроводу й опори ЛЕП та підпірної стінки ДСУ, розташованих поблизу меж кар'єрного поля, підтвердила їх достовірність, оскільки за період роботи кар'єрів після впровадження розроблених рекомендацій не було зафіксовано будь-яких пошкоджень і порушень у цих об'єктах.

5. Очікуваний економічний ефект від впровадження в умовах видобутку корисних копалин на кар'єрах ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр», ТОВ «Вирівський кар'єр», Кошіївський гранітний кар'єр ТОВ «СПАН», ТОВ «Будматеріали» та в акваторії відстою суден біля земельно-кам'яної греблі Дніпровської ГЕС рекомендацій щодо безпечного проведення підривних робіт поблизу будівель і споруд складає більше 570 тис. грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко В.В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України: монографія. – К.: ТОВ «Видавництво Сталь», 2012. 234 с.
2. Кравець В.Г., Коробійчук В.В., Бойко В.В. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху: монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2015. 408 с.
3. Сафонов Л. В Кузнецов Г. В. Сейсмический эффект взрыва скважинных зарядов. М. : Наука, 1967. 102 с.
4. Кузнецов Г. В. Сейсмическая безопасность сооружений при взрывных работах в карьерах. *Горный журнал*. 1971. № 4. С. 47–49.
5. Несмашный Е.А., Федин К.А. Оценка сейсмической опасности массовых взрывов в районе восточного борта карьера ОАО «ЮГОК». *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2013. № 4. С. 72–75.
6. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М. : Недра, 1976. 271 с.
7. Спосіб проведення підривних робіт при відкритій розробці рудних покладів Пат. 82004 Україна. /Несмашний Є.О., Федін К.А.; заявник і патентовласник Є.О. Несмашний. – № u 2013 04589; заявл. 12.04.13; опубл. 10.07.13, Бюл. № 13.
8. Богацкий В. Ф. Пергамент В. Х. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. М. : Недра, 1978. 128 с.
9. О параметрах сейсмических волн при КЗВ / В. Н. Костюченко [и др.]. *Физико – технические проблемы разработки полезных ископаемых*. Новосибирск, 1982. № 1. С. 33 – 41.
10. Viktor Boiko. Seismic Effect Prognosis for Objects with Different Geometric Configuration of Fundament in Close Blasting. *American Journal of Mining and Metallurgy*, 2013, Vol. 1, No. 1, 11-14 Available online at <http://pubs.sciepub.com/ajmm/1/1/3> © Science and Education Publishing DOI:10.12691/ajmm-1-1-3.

11. Albert R. Ground vibration due to quarry blasting and other source – an envelopmental factor. *Dyn. Rock.Mechanics.Poroc.* – 1970. – P. 427 – 457.
12. Дювал У., Девайн Д. Воздушная волна и сотрясение грунта при взрывах . *Открытые горные работы*. М. Недра, 1971. С. 65-77.
13. Henderson A. Dowding C. Ground and structural response due to blasting. *Adv. Rock. Mech. Part B.*, Vol. 2. 1974. P. 1359 – 1364.
14. Structural response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting /. Siskind D. et. al. // Rep. invest. Bur. Mines US Dept. Inter. – 1980.– № 8507. – P. 1–74.
15. Dynamic properties of residential structures subjected to blasting vibrations / Dowding C.et. al. / *Journal of the structural divisions*, ASCE., 1981. № 7. P. 1233–1249.
16. Бойко В.В., Ремез Н.С., Хлевнюк Т.В. Особенности механизма образования источника сейсмоизлучения при взрывном разрушении анизотропных горных массивов. *Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія "Гірництво"*. 2002. № 7. С. 77–83.
17. Бойко В.В., Худек М., Ремез Д.А. Особенности деформирования мягкого грунта под действием взрыва сферического заряда. *Матеріали Міжнародної конференції VIS zcolageomechanici–Gliwice–Ustron*. 2003. С. 33–40.
18. Бойко В. В., Ремез Д. А. Математическое моделирование короткозамедленных взрывов для управления спектром колебаний. *Сучасні ресурси енергозберігаючі технології гірничого виробництва*. Випуск -2014(13) №1. С. 33–39.
19. Промышленные взрывы и защита сооружений от сейсмического воздействия / Кудинов В.В. и др. / Доклады семинара для специалистов стран Африки. Кр. Рог, 1982. С. 153–161.
20. Prediction of ground vibrations from blasting on opencast sites / Dirch W. et. al. / *Trans. Inst. MiningandMet.*, 1983. № 4. P. 103–107.

21. Апинян Ю. В. Сейсмическое воздействие взрывов на ближайшие сооружения при производстве открытых горных работ. *Сб. Взрывное дело № 69/26* М.: Недра, 1970. С. 79–89.
22. Изыскание сейсмобезопасной технологии массовых взрывов в условиях карьера Оленегорского ГОКа / Головин Г. М. и др. / *Горный журнал*. 1973. № 11. С. 35–37.
23. Пономарев В. Т. Определение сейсмобезопасных параметров взрывов в условиях Томусинских угольных разрезов. *Уголь*. 1972. № 1. С. 3–9.
24. Сейсмобезопасность строящихся объектов при взрывах в скальных грунтах / Картузов М. И. и др. / *Тр. ИГД, М.*, 1973. № 42. С. 95–101.
25. Обоснование сейсмобезопасного веса зарядов массовых взрывов на разрезе «Новосергеевский» / Кокарев Н.А. и др. / *Разработка угольных МР открытым способом*. Кемерово, 1980. № 8. С. 195–200.
26. Исследование сейсмичности массовых взрывов на Каргайском карьере комбината «Магнезит» / Давиденко А.Н. и др. / *Огнеупоры*, 1982. № 5. С. 3–9.
27. Передача колебаний от грунтов к фундаментам сооружений при взрывах в ближней зоне / Джуркашев М. Н. и др. / *Горное дело*, 1975. № 9. С. 51–53.
28. Егоров М. Г. Интенсивность и спектральный состав сейсмических колебаний при проведении массовых взрывов. *Тр. Гипреникеля*. Л., 1981. С. 108–113.
29. Prakash A. Ground vibration. *Indian Mining and Engineering Jour.* 1985. № 10. P. 21–24.
30. Энергия несущих частот / Богацкий В. Ф. и др. / *Тр. Магнитогорского горно-металлургического института*, 1969. № 51. С. 21–26.
31. Кандыба М.И. К расчету снижения сейсмических колебаний при короткозамедленном взрывании. *Горный журнал*. 1973. № 3. С. 44–47.
32. Действие сейсмических волн надземных ядерных взрывов на здания / Костюченко В. Н. и др. / *PeacefulNuclearExplosions*. 1974. P. 443–446.

33. О влиянии короткозамедленного взрывания на интенсивность сейсмических колебаний поверхности / Воробьев И.Т. и др. / *Горный журнал*. 1971. № 12. С. 36–38.
34. Сейсмическая безопасность при взрывных работах / Совмен В.К., Кутузов Б.Н., Марьясов А.Л. и др. / М.: Горная книга, 2012. 228с.
35. Кузьменко А.А., Чалая О.Н., Хлевнюк Д.В., Бойко В.В. О количестве фактически взрывающихся зарядов в одной группе. *Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць*. 2014. № 26. С. 38–46.
36. Кузьменко А.А., Чалая О.Н., Хлевнюк Д.В., Богущкий С.Ю. Определение реального количества взорванных скважин в одной группе. *Вісник КрНУ*. 2014. № 6 (89). Частина 1. С.112-116.
37. Сейсмическое действие взрыва на здания и сооружения, расположенные на природных отвалах / Волостникова Л.Н. и др. / Тр. Челябинского политехнического института. 1979. № 228. С. 137–142.
38. Boddorf D. Uncertaimies stem from OSM proposed blasting regulations . *Pitand Quarry*. 1981. № 10. P. 91 – 92.
39. Development of response specter techniques for prediction of structural damage from open - pit blasting vibrations / Walker S et. al. / *Jrans. Inst. Mining and Met.* 1982. № 91. P. 55 – 62.
40. Longe G. Quarry blasting – environmental hazards . *Quarry, Mine and Pit*. 1978. № 7. P. 9 – 13.
41. Review of current standards and recommendations for vibration an noise / Broadnurst K. et. al. / *Jrans. Inst. Mining and Met.* 1984. № 10. P. 210.
42. Raab A. Anhaltswerte für Bodenerschutterungen bei Sprengarbeiten im internationalen Vergleich . *Ind. Steine und Erden*. 1982. № 4. P. 142 – 152.
43. Karlheinz A. Vorbeugender Schutz gegen Sprengerschütterung schaden bei Falls aushubarbeiten im Fassungsbereich von Quellen im dichtbesiedelten Wohngebiet von Baden-Baden. *Nobel Hefte*. 1978. № 1. P. 17 – 21.

44. НПАОП О.ОО-1.66-13 Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення. –К.: ДП «Редакція журналу. «Охорона праці», 2013. – 359 с.

45. Бойко В.В. Національний стандарт України. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки. / Бойко В.В., Воротеляк В.Є., Воротеляк Г.А. Кузьменко А.О. та ін // ДСТУ 4704:2008. К: Держспоживстандарт України. - 2009. – 11с.

46. ДСТУ 7116:2009. Національний стандарт України. Вибухи промислові. Методи визначення фактичної сейсмостійкості будівель і споруд. К: Держспоживстандарт України. – 2010. – 6 с.

47. Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні. –Х.: ТОВ Видавництво «Лідер», 2013. – 120 с.

48. Николаев А.В. Заметки на полях /Сб. научн.трудов ИДГ РАН. 2012, вып.3.С.172-175.

49. Беседина А.Н. , Кабыченко Н.В., Кочарян Г.Г., Павлов Д.В. Численная коррекция сейсмограмм и шумы измерительного канала. /Сб. научн.трудов ИДГ РАН. 2011, вып.2.С.100-107.

50. Бойко В.В., Кузьменко А.А., Хлевнюк Т.В. Оценка сейсмобезопасности сооружений при воздействии на них взрывных волн с учетом их спектральных характеристик.. *Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”*: Зб.наук. праць. К.: НТУУ “КПІ”. 2008. Вип.16. С.3-13.

51. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных – М.:Мир, 1989. 540с.

52. Учи Г. Персональные компьютеры для научных работников – М.:Мир, 1990. 268с.

53. Руководство по эксплуатации MiniMatePlus. Версия программного обеспечения 4.3. www.instantel.com

54. ДСТУ-П: 2006. Правила проведення гірничих вибухів. Норми безпечності сейсмічних коливань ґрунту:– К.: Держспоживстандарт України, 2007, 9с. – (Національний стандарт України).

55. Физика взрыва / ред. Л.П. Орленко [3-е изд.]. М.: Физматлит. 2002. 832с. (т. 1).
56. Белин В. А., Холодинов А. Н., Господариков А. П. Методические основы прогнозирования сейсмического действия массовых взрывов. *Горный журнал*. 2017. № 2. С. 66-69.
57. Несмашний Є. О., Федін К. А. Визначення сейсмобезпечних параметрів масових вибухів при будівництві траншеї глибокого вводу на кар'єрі «ПівдГЗК». *Вісник Криворізького національного університету*. 2013. Вип. 35. С. 18-23.
58. Артемов В. А., Виноградов Ю. И., Холодилов А. Н., Густов С. В., Щербаков Н. Я. Исследование сейсмобезопасных условий производства массовых взрывов на руднике ОАО «Ново-Широкинский рудник». *Взрывное дело*. 2011. № 105/62. С. 239–252.
59. Oncu M. E., Yön B., Akkoyun O., Taskiran T. Investigation of blast-induced ground vibration effects on rural buildings. *Structural Engineering and Mechanics*. 2015. Vol. 54. № 3. pp. 545–560.
60. Спосіб визначення сейсмобезпечної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів і відстаней: патент на корисну модель №131003 UA / Кузьменко А.О., Бойко В.В., Хлевнюк Т.В., Хлевнюк Д.В., Лемешко В. А. / заявл. 25.04.2018; опубл. 10.01.2019. Бюл. №1.
61. А. с. №1162969 СССР. Способ определения сейсмоопасных зон в трещиноватых горных массивах / А.О. Вовк, В.В. Бойко, Н.В. Кривцов, Ф.И. Кучерявый. – №3623214; заявл. 6.06.83; опубл. 22.02.85. Б
62. Кукуладзе Н. Д. Совместное колебание грунта и сооружений при взрывах различных типов ВВ на карьерах. Тр. Груз. Политехн. института. Тбилиси, 1978. № 6/207. С. 49–59.
63. Стадницкий Б. Я. Определение сейсмического действия взрыва при помощи амплитудно–частотных характеристик среды . *Исследование систем и технологий подземных разработок рудных залежей с закладкой*. М.: 1973. С. 32 –41.

64. Бойко В.В., Хлевнюк Д.В. Сейсmobезопасность сооружений в условиях промышленных взрывов. *Turkmenistanda seysmika durnukli gurlusygy kamilledirmek-gurlusyk pudagynyn ustunlikli syýasatynyn girewirir*/Ашхабад.2014. с.78-84.

65. Бойко В.В., Чала О.М., Хлевнюк Д.В. Сейсmobезпека гребель і споруд в умовах кар'єрних вибухів. *Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво*. ПолтНТУ Вип. 3 (45). 2015. С. 193-202. (міжнародна наукометрична база Index Copernicus).

66. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Д.В., Лемешко В.А. Дискретизация аналогового сигнала от сейсмического приемника СМ-3 при проведении промышленных взрывов. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2015. Вип. 27. С.97-105.

67. Бойко В.В., Хлевнюк Д.В., Богуцький С.Ю. Оцінка сейсмічного ефекту масових вибухів по системі неелектричного ініціювання зарядів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2015. Вип. 28. С.5-11.

68. Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Чала О.М. Хлевнюк Д.В. Про сейсмічну дію вибуху розосередженого заряду. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2016. Вип. 31. С.25-35.

69. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Хлевнюк Д.В. Дія вибуху розосередженого заряду в скельних ґрунтах. *Вісник ЖДТУ. Технічні Науки*. Вип. № 1 (79). 2017. С. 153-159.

70. Спосіб сейсmobезпечного короткосповільненого підривання в тріщинуватих гірських породах : патент на корисну модель № 93234 UA МПК E21C41/26 (2006.01) / Бойко В.В., Богуцький С.Ю., Хлевнюк Д.В., Жукова Н.І.- №u201403411; заявл. 03.04.2014; опубл. 25.09.2014. Бюл. №18.

71. Спосіб вибухового руйнування складно структурних масивів гірських порід: патент на корисну модель № 93235 UA / Бойко В.В., Богуцький С.Ю., Хлевнюк Д.В., Жукова Н.І.- №U201403413; заявл. 03.04.2014; опубл. 25.09.2014. Бюл. №18.

72. Спосіб визначення інтенсивності сейсмічних хвиль при масових вибухах: патент на корисну модель № №135669 UA / Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Чала О.М., Хлевнюк Д.В., Лемешко В. А. / заявл. 07.02.2019; опубл. 10.07.2019. Бюл. №13.

73. Хлевнюк Д.В., Лемешко В. А. Чала О.М. Низькочастотна фільтрація сейсмограм, одержаних аналого-цифровим комплексом. Тези VI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів», 17- 18 квітня 2019 року. – Житомир : ЖДТУ, 2019.

74. Хлевнюк Д.В., Тарасюк О.С., Чала О.М. Фільтрація запису хвильових коливань. II міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики», 29-31 травня 2019 року. – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача *Хлевнюк Д.В.* за темою дисертації «Розробка методу оцінки сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання у кар'єрах для сейсмічної безпеки навколишніх будівель і споруд»

Публікації:

Статті у фахових виданнях:

1. Кузьменко А.А., Чала О.М. Хлевнюк Д.В. О количестве фактически взрывающихся зарядов в одной группе. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2014. Вип. 26.
2. Кузьменко А.А., Хлевнюк Д.В., Богуцький С.Ю. Определение реального количества взорванных скважин в одной группе. *Вісник КрНУ*. Вип. 6/2014 (89). Частина 1. С.112-116.
3. Бойко В.В. Хлевнюк Д.В. Сейсмобезопасность сооружений в условиях промышленных взрывов. *Turkmenistanda seysmika durnukli gurlusygy kamilledirmek-gurlusygy pudagynyn ustunlikli syyasatynyn girewirir*. Ашхабад. 2014. с.78-84.
4. Бойко В.В., Чала О.М., Хлевнюк Д.В. Сейсмобезпека гребель і споруд в умовах кар'єрних вибухів. *Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. ПолтНТУ*. 2015. Вип. 3 (45). С. 193-202. (міжнародна наукометрична база *Index Copernicus*).
5. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Д.В., Лемешко В.А. Дискретизация аналогового сигнала от сейсмического приемника СМ-3 при проведении промышленных взрывов. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2015. Вип. 27. С.97-105.
6. Бойко В.В., Хлевнюк Д.В., Богуцький С.Ю. Оцінка сейсмічного ефекту масових вибухів при системі неелектричного ініціювання зарядів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2015. Вип. 28. С.5-11.
7. Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Чала О.М. Хлевнюк Д.В. Про сейсмічну дію вибуху розосередженого заряду. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2016. Вип. 31. С.25-35.
8. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Хлевнюк Д.В. Дія вибуху розосередженого заряду в скельних ґрунтах. *Вісник ЖДТУ. Технічні Науки*. 2017. Вип. № 1 (79). С. 153-159. (включено до баз даних «WorldCat», «BASE», «eLibrary», «Google Scholar»)
9. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Д.В. Норми сейсмічної безпеки при проведенні вибухових робіт на кар'єрах *Вісник ЖДТУ. Технічні Науки*. 2017. Вип. № 2 (80). С. 214 – 224. (включено до баз даних «WorldCat», «BASE», «eLibrary», «Google Scholar»).

Патенти на корисні моделі та винаходи:

10. Спосіб сейсмобезпечного короткосповільненого підривання в тріщинуватих гірських породах: пат. на корисну модель № 93234 UA: МПК

E21C41/26 (2006.01). №u201403411; заявл. 03.04.2014; опубл. 25.09.2014. Бюл. №18.

11. Спосіб вибухового руйнування складно структурних масивів гірських порід: пат. на корисну модель № 93235 UA . №U201403413; заявл. 03.04.2014; опубл. 25.09.2014. Бюл. №18.

12. Спосіб визначення сейсмобезпечної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів і відстаней: пат. на корисну модель №131003 UA . заявл. 25.04.2018; опубл. 10.01.2019. Бюл. №1.

13. Спосіб визначення інтенсивності сейсмічних хвиль при масових вибухах: пат. на корисну модель № №135669 UA . заявл. 07.02.2019; опубл. 10.07.2019. Бюл. №13.

Тези докладів

14. Чала О.М., Хлевнюк Д.В., Криворучко Н.І. Оцінка інтерференції сейсмічних коливань при неелектричній системі ініціювання зарядів вибухової речовини. Збірник матеріалів П'ятої Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених до 95-річчя Національної академії наук України. (Київ, 19-20 лист. 2013 р.). Київ, 2013.

15. Бойко В.В. Хлевнюк Д.В. Сейсмобезопасность сооружений в условиях промышленных взрывов. *Turkmenistanda seysmika durnukli gurlusygy kamilledirmek-gurlusyk pudagynyn ustunlikli syuysatynyn girewirir* (Ашхабад, 2014.) Ашхабад, 2014. С.78-84.

16. Чала О.М., Кузьменко А.О. Хлевнюк Д.В. Оцінка сейсмічного ефекту масових вибухів на кар'єрах. *Енергетика. Екологія. Людина. Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва*: матеріали ІХ міжнародної науково - технічної конференції молодих вчених, аспірантів та магістрантів. (Київ, 25 трав. 2017р.). Київ, 2017.

17. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Хлевнюк Д.В. Сейсмічна дія короткосповільнених масових вибухів. *Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики*: матеріали міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 17-18 трав. 2018 р.). Київ, 2018.

18. Кузьменко А.О., Чала О.М., Хлевнюк Д.В., Тарасюк О.С. Сейсмічний ефект вибуху одночасно підірваних зарядів. *Розробка родовищ корисних копалин. Маркшейдерське забезпечення геотехнологій*: матеріали всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих вчених та студентів, присвяченої Дню науки (Житомир, 16-18 трав. 2018р.). Житомир, 2018. С. 191-192.

19. Бойко В.В., Хлевнюк Т.В., Хлевнюк Д.В., Лемешко В.А. Дискретизація сигналів одержаних аналого-цифровим комплексом до показників автономного комплексу Mini mate plus. *Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики*: матеріали ІІ міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 29-31 трав. 2019 р.). Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2019.

20. Хлевнюк Д.В., Лемешко В. А. Чала О.М. Низькочастотна фільтрація сейсмограм, одержаних аналого-цифровим комплексом. *Перспективи розвитку*

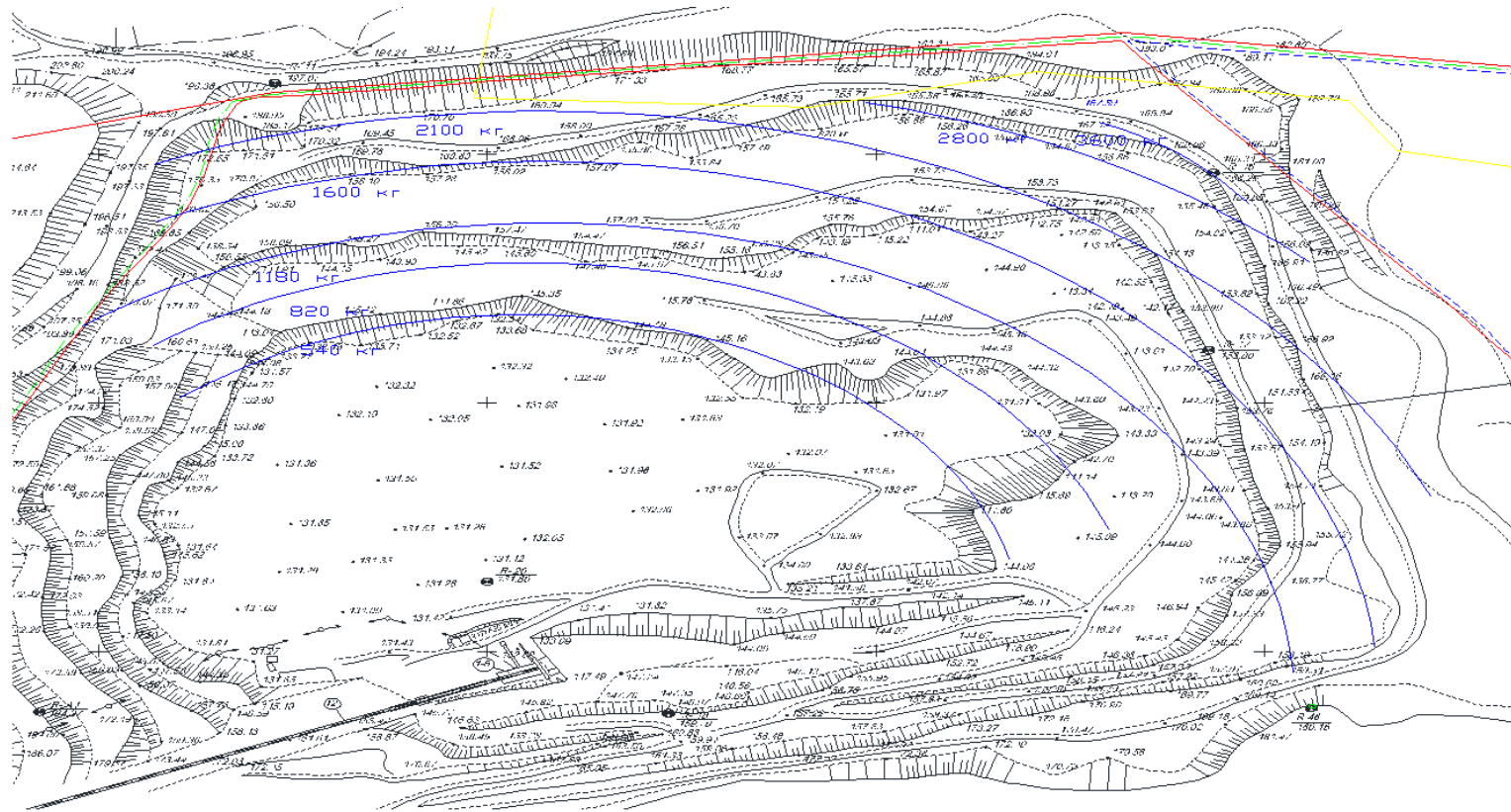
гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів: матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Житомир, 17- 18 квітня 2019 р.). Житомир : ЖДТУ, 2019.

21. Хлевнюк Д.В., Тарасюк О.С., Чала О.М. Фільтрація запису хвильових коливань. *Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики: матеріали II міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 29-31 трав. 2019 р.). Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2019.*

Апробація результатів дисертації:

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та окремі її результати обговорювались на Міжнародному форумі-конкурсі молодих вчених «Проблемы недропользования» (Российская Федерация, 23-25 апреля Санкт-Петербург, 2013 г.) , на Всеукраїнській науковій конференції молодих вчених «До 95-ти річчя НАН України» Київ, 19-20 листопада 2013 р; Міжнародній науково-технічній конференції «Энергетика. Экология. Человек». Конференции молодых ученых, аспирантов и магистрантов. Секция «Перспективы развития горного дела и подземного строительства» (Украина ,Киев, 2014).

ДОДАТОК Б
ПЛАН КАР'ЄРА ТОВ «ВИРІВСЬКИЙ КАР'ЄР» З ЛІНІЯМИ ДОПУСТИМИХ ЗАРЯДІВ, ДЛЯ
СЕЙСМОСТІЙКОСТІ ПІДПІРНОЇ СТІНКИ ДРОБАРКИ, ОДЕРЖАНИХ ПО ВИЩЕНАВЕДЕНОМУ МЕТОДУ
(для горизонтів +132, +145, +157 та +170 м.)



ДОДАТОК В

Рекомендації щодо сейсмобезпечного проведення БВР на гранітному кар'єрі ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ»

Жорилківське (Шумилівське-І) родовище гранітів (рис. 1) розташоване на території Маньківської сільської ради Бершадського району Вінницької області в 0,5 км на північний захід від с. Шумилів на правому березі р. Південний Буг. У північно-східній частині кар'єру на відстані 300-350 м від не робочого борту розташовані споруди: гребля - житловий масив села. З 2014 р. по тепер ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ» проводить відпрацювання горизонту +170 м у південно-західному напрямку, тобто в умовах постійного наближення до греблі Чернятської ГЕС та будівель с. Шумилів. Тому, для перегляду «Рекомендацій», представляється можливим використати дані, одержані під час масового вибуху 17.04.14 р., коли здійснювались сейсмометричні виміри інтенсивності коливань земної поверхні від підривних робіт 4-ма сейсмостанціями Mini Mate Plus.

Було висаджено 61 заряджених вибухівкою граноміт – 30 у свердловинних зарядів, діаметром 149 мм, які розділені на 14 груп, що підривались з інтервалом 40 мс. Загальна маса зарядів ВР - 16600 кг, питома витрата ВР-1,0 кг/м³. Були застосовані уповільнювачі - поверхневі пристрої типу УНС-П-40, свердловинні пристрої - УНС-С-500. Кількість свердловинних зарядів в одній групі змінювалася від 2 до 6, при цьому найбільшу кількість груп (6) становили групи з 5 свердловинних зарядів. Маса одного свердловинного заряду становила 272 кг, а максимальна маса зарядів ВР однієї групи -1632 кг. В якості бойовиків використовувалися по дві шашки Т-400 в кожній свердловині. Сітка свердловин 4,2 м×4,2 м. Витрата ВР при масовому вибуху протягом 1 мс становить 296,4 кг/мс.

Інструкція з експлуатації неелектричної системи ініціювання «Імпульс» встановлює наступні граничні значення часу сповільнення для пристроїв: УНС-П- 40 від 33 до 47 мс; УНС-С-500 від 476 до 524 мс.

Характеристика охоронних об'єктів. Найбільш вразливі в сейсмічному відношенні в охоронюваній зоні від дії МВ в кар'єрі є житлові будинки с. Шумилів, розташовані на відстані 300-350 м від блоків, що підривають.

Так, наприклад, будинок № 17 по вул. Набережній представляє собою цегляну одноповерхову будівлю з бетонним фундаментом старої споруди і має тріщини в несучих стінах. Критерієм сейсмобезпеки при вибухових роботах для будівель та греблі є величина швидкості зміщення часток ґрунту в їхній основі [44-47]. Ушкодження споруд наступає в тому випадку, коли швидкість зміщення часток ґрунту (U , см/с) перевищує допустиму її величину. Особливо небезпечним становище стає, коли частота коливань ґрунтової основи будівлі наближається до її власної. Період власних коливань будівель с. Шумилів близький до 0,2. Допустимою швидкістю зміщення ґрунту в основі даних будинків, як основного критерію сейсмічної

стійкості, є швидкість 1,0 см/с на частоті більше 20 Гц. Таким чином відповідно до нормативних документів [44- 46] і на основі обстеження технічного стану і строку експлуатації оглянутих житлових будинків с Шумилів, а також з огляду на психологічний стан впливу на населення систематично повторюваних вибухів, існуюча норма була переглянута і за допустиму величину швидкості зміщення часток ґрунту в основі житлових будинків прийнята $[U]=1,0$ см/с, з урахуванням спектрального складу сейсмічних коливань [46]. Стосовно греблі Чернятської ГЕС, то допустима величина швидкості зміщення часток ґрунту в основі її встановлена 2,0 см/с на частоті більше 20 Гц.

Результати експериментальних досліджень. В таблиці В.1. приведені дані, одержані з осцилограм та спектрограм коливань ґрунту, в кожному пункті встановлення сейсмоприймачів, по 4-м сеймостанціям при виконанні масового вибуху 17.04.12 р. в кар'єрі ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ».

На основі даних табл.1 для гірничо-геологічних умов, в яких розповсюджуються сейсмічні хвилі від місця проведення вибуху в кар'єрі ТОВ " БУДМАТЕРІАЛИ " до зон розташування об'єктів , що охороняються одержана аналітична залежність для визначення масової швидкості коливань $(|U_p|^x, \text{см/с})$, в об'ємній хвилі по вертикальній складовій, від приведеної до маси заряду відстані, яка має вигляд:

$$|U_p|^x = 73 \cdot 10^3 \left(\frac{r}{Q_{\text{гр}}^{1/3}} \right)^{-1,77}, \text{ см/с.} \quad (1)$$

де r – відстань від блоку, що підривається до пункту спостереження, м;

$Q_{\text{гр}}$ - максимальна маса зарядів у групі, що підривається миттєво з одним інтервалом сповільнення не менше ніж 20 мс, кг. Коефіцієнт кореляції зазначеної залежності - 0,924.

Аналіз отриманих сейсмограм показує , що на тлі відносно рівномірних сейсмічних імпульсів, заданих проектом робіт, спостерігаються не менше 3-ох імпульсів перевищуючих загальний коливальний процес на 30-50%. Причому ці максимальні імпульси розташовані не тільки в середині сейсмограм, а також на початку і кінцях, тобто там, де за проектом вибуху групи зарядів з максимальною масою були відсутні. Таким чином видно, що відбулося не заплановане підривання додаткової кількості зарядів, викликане помилками спрацьовування поверхневих або свердловинних сповільнень. У даному випадку найімовірніше причиною явища є похибки в спрацьовуванні свердловинних ініціаторів: Наприклад якщо розглянути ініціювання 6 і 7 груп зарядів, то можлива наступна ситуація [1] 676-724 мс I 716-764 мс, тобто інтервал між 716 і 724 мс перекривається і можливо підривання сусідньої свердловини.

Ефективну масу одного свердловинного заряду одержимо з використанням формули (3.11):

$$Q_{ef} = 272 \left[\left(1 - \frac{1}{6^{0,7}} \right) 0,072 + \frac{1}{6^{0,7}} \right] = 272 \cdot 0,33 = 90,3 \text{ кг} . \quad (2)$$

$$Q_{ef}^{1/3} = 4,48.$$

Використовуючи формулу для визначення масової швидкості для розосередженого заряду, одержану в розд. 3.

$$U = K \cdot N \left(\frac{r}{Q_{ef}^{1/3}} \right)^{-n} \quad (3)$$

Проаналізуємо, наприклад, сейсмограму, отриману на відстані 260 м від блоку, що підривається.

Більшість сейсмічних імпульсів цієї сейсмограми очевидно запроектованих кількістю свердловинних зарядів в одній групі рівним 5 і ці імпульси приблизно рівні між собою за масової швидкості (2,4 см/с). Підставляємо дані, в т. ч. з формули (1) в (2) і визначаємо коефіцієнт сейсмічності (він же і коефіцієнт пропорційності) $K = 645$.

Максимальна масова швидкість по X - складовій на відстані від блоку, що підривається, дорівнює 3,9 см/с. Підставляємо всі наявні дані в (2) і визначаємо, що фактична кількість зарядів, які вибухнули, в максимальній групі було 8, а не 6, як проектувалося заздалегідь.

Використовуючи залежність (2) і установлені допустимі масові швидкості коливань ґрунту ($U_{\text{доп}}$, см/с), визначені допустимі [$Q_{\text{доп}}$, кг] по сейсмобезпеці маси зарядів ВР в максимальній групі сповільнення в залежності від відстані [r , м] до охоронного об'єкту.

Враховуючи нормативні документи [44-46], а також літературні джерела [1], визначена допустима масова швидкість коливань ґрунту в основі охоронних об'єктів, як основного критерію сейсмобезпеки вибухових робіт:

- для будівель с. Шумилів і бетонної споруди греблі у відповідності з Технічними правилами ведення вибухових робіт на денній поверхні [47] (додаток 49 п. 2.2 глава 2 розділ IX табл. 9.1) і з урахуванням психологічного стану від впливу ВР на населення - $U_{\text{доп}} = 1,0$ см/с; для греблі - $U_{\text{доп}} = 2,0$ см/с.

Використовуючи встановлену величину критерію сейсмостійкості споруди ($U_{\text{доп}} = 1$ см/с), і визначаючи зі співвідношення $\frac{K_2}{K_1} = \left(2176^{1/3} \right)^{-1,77}$

значення $K_2 = 790$, розраховуємо допустиму масу ВР в одному ступені уповільнення в залежності від відстані до об'єкту, що охороняється (житловий будинок по вул. Набережній 17), що і представлено в табл. В.2.

Таблиця В.1 - Дані, одержані з осцилограм та спектрограм коливань ґрунту

Встановлення станцій MiniMate Plus													
Найменування	Од.ви м	№1 (150м)			№2 (100м)			№3 Гребля			№4 буд.		
Складові хвиль		Tran	Vert	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert	Long	Tran	Vert	Long
PPV (максимальна швидкість коливань)	mm/s				33.5	12.1	39.0	11.0	22.5	21.7	15.5	14.2	17.7
PPV (Ponderated)	mm/s	31.90	35.3	36.1	31.1	10.8	37.6	10.3	19.5	21.7	15.1	13.4	15.1
PPV	dB	81.0	81.0	81.0	81.5	72.6	82.8	71.8	78.0	77.7	74.8	74.1	75.9
ZC Freq	Hz	26	24	21	24	24	14.2	34	27	21	25.3	27.7	25.6
Time (Rel. to Trig)	Sec	0.236	0.174	0.147	0.254	0.462	0.157	0.515	0.290	0.221	0.237	0.284	0.256
Peak Acceleration (Пікове прискорення)	G	0.694	1.01	1.05	0.610	0.239	0.875	0.358	0.746	0.376	0.345	0.272	0.331
Peak Displacement (Пікове зміщення)	mm	0.204	0.264	0.334	0.208	0.0828	0.304	0.0581	0.116	0.159	0.0984	0.0817	0.0906
Sensor Check		Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
Frequency (Частота)	Hz	7.6	7.6	7.5	7.4	7.5	7.3	7.4	7.5	7.5	7.3	7.6	7.5
Overswing Ratio	Hz	3.8	3.4	3.7	4.0	3.6	4.0	3.7	3.7	4.1	3.7	3.6	3.8
Сумарний вектор	mm/s	mm/s at 0.219 sec 4,5Гц			40.4 mm/s at 0.157 sec 6,4Гц			26.4 mm/s at 0.220 sec 3,5Гц			20.4 mm/s at 0.256 sec 3,9Гц		

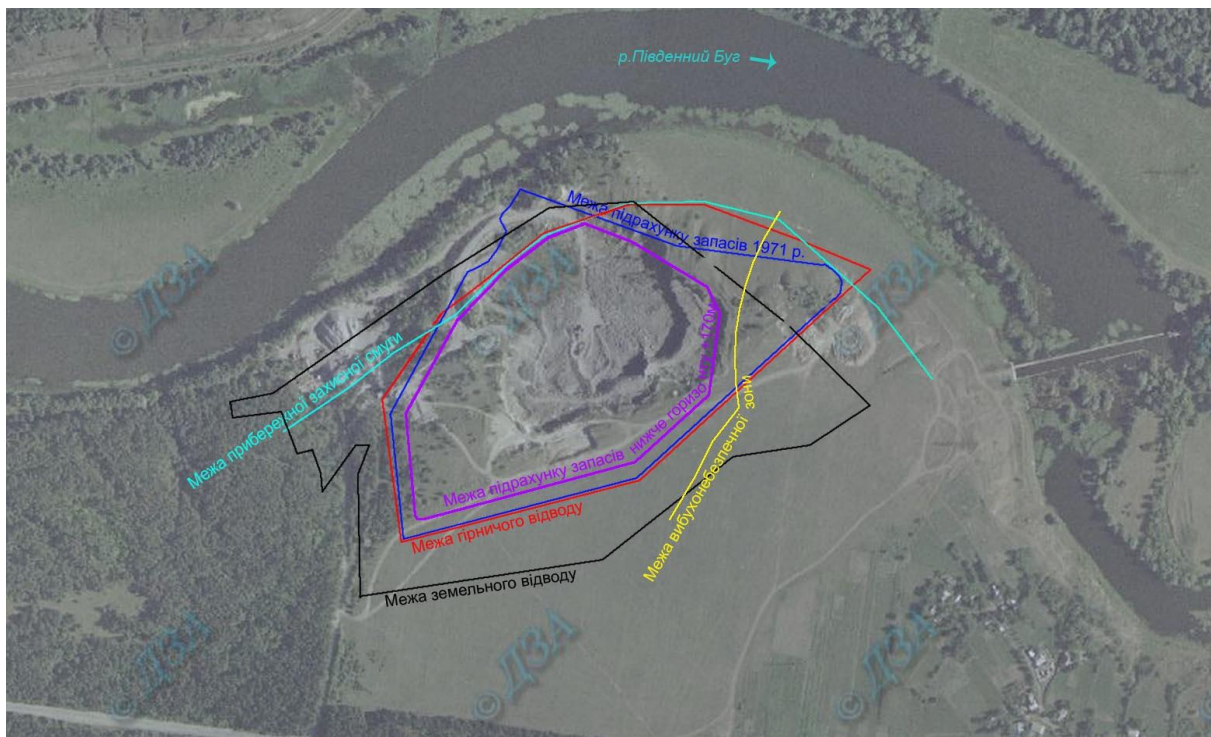


Рис. 1 Аерофотознімок території Жорняківського (Шумилівського-І) родовища гранітів з нанесеними межами. Масштаб 1 : 15 000.

Таблиця В. 2 – Допустима маса ВР

г,м	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
Q, г	320	380	460	540	640	750	860	1000	1150	1300	1450

РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Визначена відповідно до нормативних документів, на основі обстеження технічного стану і строку експлуатації житлових будинків с. Шумилів, а також з огляду на психологічний стан впливу на населення систематично повторюваних вибухів, допустима величина швидкості зміщення часток ґрунту в основі житлових будинків, становить $U_{\text{доп}}=1,0$ см/с, а для греблі – $U_{\text{доп}} = 2,0$ см/с.

2. Для забезпечення допустимого радіуса розльоту шматків породи на ЛЕП та сейсмобезпеки житлових будинків та греблі, розташованих у північно-східній стороні кар'єру рекомендується наступне:

- заморозити відпрацювання запасів гранітів на північно-східному фланзі родовища Жорилківське (Шумилівське 1), кар'єра ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ», ділянки наближеної до греблі Чернятської ГЕС та будівель с. Шумилів, Бершадського району, Вінницької області,

створюючи при цьому умови збільшення радіуса розльоту шматків породи, прибережної та сейсмічної захисної зони;

- подальшу розробку родовища відпрацьовувати в межах границі підрахунку запасів нижче горизонту +17 м до горизонту +155 м, опираючись на матеріали геологорозвідувальних робіт проведених в 1969-71 р.р. та результатів довивчення в процесі експлуатації родовища, проведеного КГЕ «Укргеолбуд» в 1997-1998 р.р. та 2006-2007 р.р.;

- відпрацювання родовища, в межах границі підрахунку запасів нижче горизонту +170 м до горизонту +155 м проводити блоками в південно-східному напрямку з обмеженою максимальною масою ВР, що приходить на одну групу сповільнення (не менше 20 мс), яка не повинна перевищувати даних табл. В. 2.

3. Дані таблиці В. 2 забезпечать необхідну сейсмобезпеку для будівель та гідропоруди тільки з використанням параметрів масових вибухів (висота уступу, конструкція і діаметр свердловинного заряду ВР, тип ВР і т. п.) подібних до масового вибуху від 17.04.2012 р.

4. Виконання масових вибухів по іншим технологіям, або в зоні відстаней не відображених в табл. В.2 не допускається без даних, які необхідно одержати на основі додаткових сейсмовимірjuвальних робіт в цих умовах.

ДОДАТОК Г

(Акт впровадження та розрахунків економічного ефекту від використання результатів дисертаційних досліджень)

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Зам. директор НВПІ "СКТБ

ГЕОФІЗИК”



М.А. Бондаренко

24 грудня 2018 р.

АКТ

про використання результатів дисертаційних досліджень **Хлевнюк Д.В. “Розробка методу оцінки сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання у кар'єрах для сейсмічної безпеки навколишніх будівель і споруд”** на науково-виробничому підприємстві НВПІ «СКТБ Геофізик»

м. Київ

«24» грудня 2018 р.

Комісія у складі: від НВПІ «СКТБ Геофізик» - головний конструктор Криворучко В.С., науковий співробітник Мошкун О.М.; від Інституту гідромеханіки НАН України – провідний інженер Хлевнюк Денис Вікторович склали цей акт у наступному:

1. НВПІ «СКТБ Геофізик» засвідчує, що ними були прийняті до впровадження результати дисертаційних досліджень Хлевнюка Д.В. “Розробка методу оцінки сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання у кар'єрах для сейсмічної безпеки навколишніх будівель і споруд”, і, зокрема:

- встановлений критерій по параметру сейсмічних хвиль від вибуху одиничного заряду для визначення максимального сейсмічного поля при КСП; дана відповідь щодо можливості оцінки і прогнозу по кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів сейсмічного ефекту всього КСП на кар'єрах;

- отримані нові кількісні та якісні зв'язки між типом сейсмічних хвиль, одержаних із сейсмограм вибухів на основі аналізу траєкторій руху часток ґрунту та власними частотними гармоніками будівель і споруд безпечних для них; дана відповідь щодо можливості оцінки сейсмостійкості- уступів, підпірних стінок, кам'яно-земельних гребель для

яких характерні високі власні частотні гармоніки (безпечними є поперечні хвилі), а для низькочастотних (житлові і адміністративні одно і багатоповерхові будівлі, опори ЛЕП та ін.) – безпечними є поверхневі хвилі Релея;

- визначені емпіричні коефіцієнти і формули по розрахункам допустимої кількості розосереджених свердловинних зарядів ВР на ступінь уповільнення з використовуються результати аналізу моніторингу сейсмічних хвиль, одержаних одночасно, як від короткосповільненого масового вибуху так і від окремо виділеного свердловинного заряду.

2. Впровадження результатів дисертаційних досліджень виконано для розробки рекомендацій, щодо проектування сейсмобезпечних масових вибухів з визначення параметрів вибухових робіт та відстаней до них, що забезпечили сейсмічну безпеку житлових будівель, розташованих поблизу кар'єрів ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр», ТОВ "Вирівський кар'єр" ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ» та біля важливих об'єктів державного значення для яких відсутні допустимі норми, таких як: магістрального газопроводу і опори ЛЕП, що розташовані у промисловій зоні 300, 400 м від західних границь Кошіївського гранітного кар'єру, греблі Дністровської ГЕС (промислова зона кар'єру будматеріалів), а також об'єкти місцевого значення (гребля Чернятської ГЕС, гранітно-подрібний завод Вирівського родовища гранітів та інші). Обґрунтовано реальне зниження в 1,1-1,3 рази сейсмічного навантаження на гідротехнічні (гідроагрегати) і інженерні споруди (підпірна стінка ДСК) при визначенні допустимої маси ВР на ступінь уповільнення з інтервалом по типам сейсмічних хвиль, які на основі аналізу траєкторій руху часток ґрунту одержані, як при вибуху одиничного заряду, так і при масовому вибуху (МВ).

Комісія встановила, що запропоновані результати дисертаційних досліджень **Хлевнюка Д.В. “Розробка методу оцінки сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання у кар'єрах для сейсмічної безпеки навколишніх будівель і споруд”**, мають практичну цінність і дозволяють одержати очікуваний економічний ефект від впровадження у виробництво на 5-х кар'єрах у сумі більше 570 тис. грн на рік.

Члени комісії
Від НВПІ «СКТБ Геофізик»:




Криворучко В.С.

Мошкун О.М.

Від Інституту гідромеханіки
НАН України:



Хлевнюк Д.В.

Розрахунок очікуваного економічного ефекту

Величина річного економічного ефекту, грн.

$$E_p = ((C_1 + EK_1) - (C_2 + EK_2)) \cdot A,$$

де C_1, C_2 – собівартість продукції, відповідно, до та після впровадження, грн.;

K_1, K_2 – питомі капітальні витрати на одиницю річного обсягу, відповідно, до і після впровадження, грн.;

E – нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності капітальних витрат, прийнятий в гірничорудній промисловості, який дорівнює 0,15

A – обсяг впровадження по випуску готової продукції за рік, тис. м³.

При впровадженні рекомендацій на кар'єрах капітальні витрати були відсутні, тоді:

$$E_p = (C_1 - C_2) \cdot A.$$

Річний очікуваний економічний ефект по кар'єру ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр» складає:

$$E_{p1} = (C_1 - C_2) \cdot A = 99900 \text{ грн}$$

Річний очікуваний економічний ефект по кар'єру ТОВ "Вирівський кар'єр" складає 47350 грн.

Річний очікуваний економічний ефект по кар'єру Кошіївський гранітний кар'єр ТОВ «СПАН» складає 143500 грн.

Річний очікуваний економічний ефект по кар'єру ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ» складає 116000 грн.

Річний очікуваний економічний ефект акваторії відстою судів біля земельно-кам'яної греблі Дністровської ГЕС складає 167000 грн.

Тоді річний економічний ефект по п'яти кар'єрах буде:

$$\begin{aligned} E_p &= E_{p1} + E_{p2} + E_{p3} + E_{p4} + E_{p5} = \\ &= 99900 + 47350 + 143500 + 116000 + 167000 = 573750 \text{ грн.} \end{aligned}$$